

教育部高职高专规划教材

环境与建筑功能材料

蒋庆华 杨永利 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容包括环境材料评价方法与标准、绿色建筑材料、建筑防火材料、建筑防水材料、建筑保温隔热材料、建筑声学材料、建筑光学材料、建筑加固修复材料与复合材料、纳米材料等,较为详细地介绍了材料的特点、基本生产方法以及材料的应用技术、适用范围等。为了使读者加深理解,每章后均附有复习思考题。

本书可供高等职业院校材料、建筑及土木工程、装饰等多个专业作为教材使用。还可作为材料生产、建筑施工和建筑装饰企业的岗位培训教材以及有关人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

环境与建筑功能材料/蒋庆华,杨永利主编. —北京:
化学工业出版社, 2006. 9

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-9498-1

I. 环… II. ①蒋…②杨… III. 建筑材料: 功能材料-高等学校: 技术学院-教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 117967 号

教育部高职高专规划教材

环境与建筑功能材料

蒋庆华 杨永利 主编

责任编辑: 程树珍 王文峡

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 郑捷

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 398 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9498-1

定 价: 29.50 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

为适应高等职业技术教育的教学和人才培养的要求，进一步落实 21 世纪高等职业教育课程改革的教材建设规划，为此编写了这本教材，在编写过程中，尽可能突出目前正在使用的以及近期能推广的新材料、新技术等。

本书由蒋庆华、杨永利任主编，田文富、陈鸣任副主编。

全书共分十章。其中内蒙古化工职业学院杨永利编写第 6 章、第 8 章；黑龙江建筑职业技术学院田文富编写第 5 章、第 3 章的第 4 节；贵州省建筑材料工业学校陈鸣编写第 9 章；浙江工业大学职业技术学院陈永忠编写第 3 章的第 2 节、第 3 节；安徽职业技术学院李德明编写第 2 章、第 7 章、第 3 章的第 5 节；安徽职业技术学院蒋庆华编写第 1 章、第 4 章、第 10 章、第 3 章第 1 节，并负责全书的统稿工作。

全书由浙江工业大学职业技术学院顾申良主审，在审稿过程中顾申良老师提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促及限于编者水平，书中定有不当或不妥之处，敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

1 绪论	1
1.1 建筑功能材料的分类	1
1.1.1 建筑保温隔热材料	1
1.1.2 建筑防水材料	2
1.1.3 建筑声学材料	2
1.1.4 建筑防火材料	2
1.1.5 建筑光学材料	2
1.1.6 建筑加固修复材料	2
1.1.7 功能混凝土	3
1.2 环境材料	3
1.2.1 环境材料的特征	4
1.2.2 环境材料的分类	4
复习思考题	5
2 环境材料评价方法与标准	6
2.1 材料对生态环境的影响	6
2.1.1 材料生产和使用对环境的影响	6
2.1.2 面临的环境和资源问题	7
2.1.3 材料中的化学元素对环境和人体的影响	8
2.2 环境材料的判据	8
2.2.1 一般性原则	8
2.2.2 常见的环境指标及其表达方法	9
2.3 生命周期评价方法	11
2.3.1 概念	11
2.3.2 LCA 的评价方法	11
2.4 其他评价法	15
2.4.1 经济性指标化	15
2.4.2 环境材料的研究方法评估	16
2.5 LCA 评价方法与实例	16
2.5.1 LCA 评价方法——输入输出法简介	16
2.5.2 LCA 评价的实例	17
2.5.3 环境材料性能数据库的建立	18
2.6 LCA 评价方法的局限性	19
2.6.1 评价时的局限性	19
2.6.2 LCA 理论上的困难	20
复习思考题	20

3 绿色建筑材料	21
3.1 概述	21
3.1.1 建材对环境的污染	21
3.1.2 环境对建材的破坏作用	23
3.1.3 绿色建材的特点	23
3.2 绿色涂料	24
3.2.1 普通建筑涂料	24
3.2.2 绿色涂料的意义	26
3.2.3 绿色建筑涂料的类型	28
3.3 新型生态建筑材料	38
3.3.1 新型墙体材料	38
3.3.2 生态水泥	57
3.3.3 生态混凝土	58
3.3.4 生态玻璃	59
3.4 干粉砂浆	62
3.4.1 概述	62
3.4.2 干粉砂浆的原料	65
3.4.3 干粉砂浆的生产工艺	69
3.4.4 干粉砂浆的质量检验	70
3.5 再生循环利用技术	74
3.5.1 无机非金属材料再生循环利用	74
3.5.2 高分子材料的再生循环利用	76
复习思考题	78
4 建筑防火材料	79
4.1 概述	79
4.1.1 建筑材料的防火性能	79
4.1.2 建筑材料燃烧性能及检测分级	80
4.1.3 建筑防火材料及其防火机理	81
4.2 建筑防火板材	83
4.2.1 纤维增强硅酸钙板	84
4.2.2 石膏板材	84
4.2.3 泰柏墙板	86
4.2.4 纤维增强水泥平板	86
4.2.5 滞燃型胶合板	87
4.2.6 难燃铝塑建筑装饰板	88
4.2.7 防火吸音板	88
4.3 建筑防火涂料	89
4.3.1 建筑防火涂料的组成及分类	89
4.3.2 建筑防火涂料的防火原理	90
4.3.3 饰面型防火涂料	92

4.3.4	钢结构防火涂料	93
4.4	建筑阻燃材料	98
4.4.1	阻燃墙纸	98
4.4.2	阻燃织物	99
4.4.3	阻燃剂及堵料	100
	复习思考题	104
5	建筑防水材料	106
5.1	概述	106
5.2	防水卷材	107
5.2.1	非改性沥青油毡	107
5.2.2	改性沥青油毡	107
5.2.3	合成高分子防水卷材	111
5.2.4	防水卷材的防水施工	115
5.3	防水涂料	117
5.3.1	概述	117
5.3.2	沥青类防水涂料	117
5.3.3	沥青类防水涂料	118
5.3.4	聚氨酯防水涂料	119
5.3.5	硅橡胶防水涂料	119
5.3.6	丙烯酸酯类防水涂料	120
5.4	建筑密封材料	121
5.4.1	建筑密封材料的种类及性能	121
5.4.2	建筑防水沥青嵌缝油膏	121
5.4.3	聚氯乙烯建筑防水接缝材料	122
5.4.4	硅酮建筑密封胶	123
5.4.5	聚硫建筑密封胶	124
5.4.6	聚氨酯建筑密封胶	124
5.4.7	丙烯酸酯建筑密封胶	125
5.4.8	止水带	126
5.5	混凝土防水剂	129
5.5.1	防水混凝土的种类、特点及适用范围	129
5.5.2	常用的防水剂	129
	复习思考题	135
6	建筑保温隔热材料	136
6.1	概述	136
6.1.1	建筑节能的重大意义	136
6.1.2	国内外建筑保温隔热材料的发展现状	137
6.1.3	中国保温材料的发展方向和对策	138
6.2	建筑保温隔热材料的基本特征	139
6.2.1	保温隔热材料的作用机理	139

6.2.2	建筑保温隔热材料的基本特征	140
6.2.3	影响保温隔热材料性能的主要因素	140
6.3	常用保温隔热材料	141
6.3.1	保温材料的分类	141
6.3.2	无机保温隔热材料	142
6.3.3	有机保温隔热材料	146
6.4	建筑保温隔热材料选用原则	148
6.4.1	保温材料的一般选用原则	148
6.4.2	保温隔热材料的技术经济选择方法	149
6.4.3	建筑保温隔热材料的应用类型及基本要求	149
	复习思考题	153
7	建筑声学材料	154
7.1	概述	154
7.1.1	建筑声学的发展	154
7.1.2	声学材料与建筑声学	154
7.1.3	厅堂设计的声学要求	155
7.2	声学的基本知识	155
7.2.1	声音的产生与传播	155
7.2.2	声音的计量	156
7.2.3	声音的频谱与声源的指向性	159
7.3	建筑声学材料(结构)的基本特性	161
7.3.1	吸声材料和吸声结构	161
7.3.2	隔声和构体的隔声特性	162
7.3.3	反射和反射体	163
7.4	吸声材料	164
7.4.1	吸声材料(结构)的分类	164
7.4.2	多孔吸声材料	164
7.4.3	共振吸声结构	165
7.4.4	其他强吸声结构	168
7.5	隔声材料	168
7.5.1	空气声隔绝	168
7.5.2	固体声(撞击声)隔绝	170
7.6	声学材料(结构)的选用原则和施工应用	170
7.6.1	声学材料(结构)的选用原则	170
7.6.2	施工应用实例	170
	复习思考题	171
8	建筑光学材料	172
8.1	概述	172
8.1.1	玻璃的分类和组成	172
8.1.2	玻璃的制造	174

8.2 玻璃的基本性质	175
8.2.1 玻璃的性质	176
8.2.2 玻璃的储存与运输	180
8.3 建筑玻璃的品种及特征	180
8.3.1 平板玻璃	181
8.3.2 安全玻璃	182
8.3.3 功能玻璃	185
8.3.4 饰面玻璃	189
8.3.5 玻璃砖	193
8.3.6 有机玻璃	193
8.4 玻璃的光学装饰效果及设计手法	194
8.4.1 玻璃的光学装饰效果	194
8.4.2 玻璃装饰的设计手法	194
8.4.3 玻璃幕墙装饰	196
复习思考题	199
9 建筑加固修复材料与复合材料	200
9.1 概述	200
9.1.1 加固方法	200
9.1.2 加固技术	201
9.1.3 复合材料的应用	202
9.2 聚合物修补材料	203
9.2.1 聚合物水泥修补材料	203
9.2.2 聚合物砂浆修补材料	205
9.3 纤维复合修补材料	207
9.3.1 钢纤维混凝土	207
9.3.2 合成纤维修补材料	208
9.4 化学灌浆补强修复材料	211
9.4.1 环氧树脂化学灌浆材料	211
9.4.2 甲基丙烯酸酯类化学灌浆材料	212
9.5 加固修复用胶黏剂	214
9.5.1 胶黏剂的组成	215
9.5.2 胶黏剂的品种	216
9.5.3 胶黏剂的配方	216
9.5.4 选用原则	217
9.6 复合材料	218
9.6.1 复合材料的原料	218
9.6.2 聚合物基复合材料的生产	219
9.6.3 金属基复合材料的生产	221
9.6.4 无机非金属材料基复合材料的生产	223
复习思考题	223

10 纳米材料	224
10.1 概述	224
10.1.1 纳米材料的科学概念	224
10.1.2 纳米材料的分类	224
10.1.3 纳米材料的特性	225
10.1.4 纳米科技的发展状况	226
10.2 纳米材料的合成与制备简介	227
10.2.1 纳米材料制备技术分类	227
10.2.2 纳米粉体制备方法	228
10.3 纳米材料的应用	230
10.3.1 在环境领域中的应用	231
10.3.2 纳米材料在建筑材料中的应用	233
复习思考题	235
参考文献	236

6 建筑保温隔热材料

■ 本章提要

建筑保温隔热材料作为一种建筑功能材料在现代建筑上使用得越来越广，它不仅可以提高建筑物的舒适性，而且可以降低建筑取暖和空调能耗，对保护环境、合理利用能源、实现可持续发展、建设节约型社会都有重要意义。当前，发展保温隔热材料并在建筑上正确选择和使用保温隔热材料已引起越来越多的国家的重视。本章在介绍建筑节能的意义及我国和世界保温隔热材料的发展趋势的基础上，重点说明目前广泛使用的各种无机和有机保温隔热材料的性能、用途以及使用中的注意事项。

6.1 概述

6.1.1 建筑节能的重大意义

当前，能源危机在世界范围已经成为迫在眉睫的问题，能源安全也成为世界各国关系到国家战略安全的重大问题。中国地大物博，但众多的人口使我国成为资源、能源人均占有量弱国，加上工业化进展过程中，落后的生产方式使有限的资源、能源未能发挥应有的作用，节能显得更加刻不容缓。

中国现有城乡住房建筑总量为 400 亿平方米，其中节能住房不足 5%。全面建设小康社会，改善居住条件是重要标志，预计到 2020 年将新建和改造住房约 300 亿平方米，而目前单位建筑面积采暖能耗为气候相近发达国家的 3 倍左右，如果建筑节能工作仍维持现状，到 2020 年建筑能耗将达到 10.89 亿吨标准煤，仅空调高峰负荷将相当于 10 个三峡电站满负荷运转。同时，截止到 2005 年，建筑在建造和使用两个过程中，耗能对全国温室气体排放贡献率已达 42%，其中，近一半是建筑耗能所造成的。因此，建筑节能具有举足轻重的意义。

权威部门的统计资料表明，中国建筑能耗已占全国能源消耗的 30%，而在建筑能耗中，墙体耗能所占比例高达 60% 左右。墙体能耗主要表现在实心黏土砖保温隔热性能差，又没有采取必要的保温措施，在大部分高能耗建筑中，墙体和门窗的热损失占建筑物热损失总量的 85% 左右。

建筑节能不仅事关国家的能源安全，而且也是一个国家社会文明进步的重要标志；是落实科学发展观，推进循环经济发展，建设节约型社会，实现可持续发展的重要而紧迫的任务。

为了推进建筑节能工作，2005 年 4 月 26 日，国家建设部和国家质量技术监督检验检疫总局联合发布了《公共建筑节能设计标准》，并于 7 月 1 日起正式实施，这是我国批准发布的第一部公共建筑节能设计的综合性国家标准。与此相配套，将制定节能构造方面的技术文件。2005 年 9 月，建设部又下发了《关于进一步加强建筑节能标准实施监管工作的通知》，加强对建筑标准节能标准实施进行监管，对违反节能标准的单位不予办理施工许可。2006 年 3 月 1 日起国家标准《住宅性能评定标准》将实施。该标

准不是单纯的评优标准，而反映的是住宅的综合性能水平，体现节能、节地、节水、节材等产业技术政策。另外，《生态住宅》标准也正在拟定中。该标准主要包括场地环境规划设计、节能与能源利用、室内环境质量、住区水环境、材料与资源等五个方面。其宗旨是体现节约资源、减少污染，创造健康、舒适的居住环境，与周围生态环境相融合三大主题。

国内建筑节能的目标是到 2010 年，全国新建建筑争取 1/3 以上能达到绿色建筑和节能建筑的标准的同时，全国城镇建筑的总能耗要实现节能 50%；到 2020 年，使北方和沿海经济发达地区及超大城市实现建筑节能 65%。

“十一五”期间中国建筑节能工作的重点，一是新建建筑全面执行建筑节能设计标准；二是深化北方地区供热体制改革，推进建筑节能改造；三是建立公共建筑能源审计、最高能耗定额、超定额加价等制度，促进公共建筑节能；四是大力推进可再生能源建筑规模化应用；五是启动节能和绿色示范工程加快技术进步，引导未来建筑发展方向。

6.1.2 国内外建筑保温隔热材料的发展现状

国外普遍重视保温材料的生产和建筑的保温工作，力求减少能源的消耗量，从而减少环境污染和温室效应。国外保温材料的生产已经有很长的历史，其中，建筑保温材料占绝大多数，如美国从 1987 年以来建筑保温材料占有所有保温材料的 81% 左右，瑞典及芬兰等北欧国家 80% 以上的岩棉制品用于建筑节能。中国保温材料工业发展相对较晚，大多用于工业窑炉、热力管道和设备及交通运输领域，在生产技术和种类上与国外也有很大的差距。

国际上使用矿物棉制品作为保温材料已有 160 多年的历史了。1840 年英国首先发现熔化的矿渣喷吹后可以形成纤维，并开始生产矿渣棉，而后在其他国家相继使用和生产。1930~1950 年，开始了矿物棉的大规模生产和应用。1980 年至今，国际上矿物棉制品的产量处于比较平稳的时期，因为其他的保温材料如玻璃棉、泡沫塑料的发展加快，而主要矿物棉的生产国家的发展速度放慢。虽然矿物棉产量增幅不大，但在生产规模、技术及深加工方面有了很大的发展。

国外玻璃棉年产量约在 200 万吨左右。主要生产国是美国、法国和日本。玻璃制品品种较多，主要有玻璃棉毡、玻璃棉板、玻璃棉带和玻璃棉保温管。玻璃棉制品主要用于建筑业，在建筑上的用量占玻璃棉产量的 80% 以上，在日本甚至达到了 90%。

自 1940 年美国开始大量生产和应用膨胀珍珠岩，并逐步推广到农业、冶金等其他行业。膨胀珍珠岩应用范围很广，但其产品绝大部分应用于建筑业，其用量约占世界膨胀珍珠岩总产量的 60% 以上。在国外，膨胀珍珠岩及其制品的应用范围仍在继续扩大，其用途已知的就有 160 多种。20 世纪 40 年代，硅酸钙绝热制品首先在美国问世。硅酸钙绝热制品在众多的保温材料中具有在中高温范围内的抗压强度高，热导率小，施工方便，可反复使用等优点，因而发展迅速。

中国的绝热保温材料自 20 世纪 80 年代起开始获得较快发展和较广泛的应用，目前已经发展成品种比较齐全、初具规模的保温材料生产和技术体系，基本满足国家建设对绝热保温材料的需求。优质的绝热保温材料，如矿物棉、玻璃棉、泡沫塑料等制品的生产能力有很大的提高，应用的数量和范围逐步扩大，在节能工程中产生的经济效益和社会效益逐步为人们所认识。表 6-1 为近十年中国主要绝热保温材料的产量情况，反映了国产绝热材料在品种和产量上的发展趋势。

表 6-1 近十年中国主要绝热保温材料的产量情况

品 种	1995 年	1998 年	2000 年	2001 年	2002 年	2004 年
岩棉	17 万吨	25 万吨	35 万吨	30 万吨	(33~35)万吨	(53~55)万吨
玻璃棉	3 万吨	4 万吨	5 万吨	(7~7.5)万吨	(9~9.5)万吨	(20~21)万吨
硅酸铝纤维	2 万吨	2.5 万吨	3 万吨	5 万吨	(6.5~7)万吨	(13~14)万吨
膨胀珍珠岩	50 万吨	60 万吨	65 万吨	归入硬质类绝热材料统计数据中		
硬质类绝热材料	—	—	—	40 万吨	40 万吨	50 万吨
泡沫塑料	4 万吨	6 万吨	8 万吨	归入有机类绝热材料统计数据中		
有机类绝热材料	—	—	—	21 万吨	25 万吨	(72~73)万吨
硅酸盐复合涂料及制品	—	—	—	几百吨	0.15 万吨	2.5 万吨
纤维纺织品	—	—	—	0.1 万吨	0.11 万吨	0.15 万吨
轻型复合板材	—	—	—	7000 万平方米	8200 万平方米	16350 万平方米

注：1. 表中硬质类绝热保温材料包括硅酸钙、泡沫玻璃、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石等产品；有机类绝热保温材料包括聚苯乙烯泡沫塑料、聚乙烯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料、硬质聚氨酯泡沫塑料、酚醛树脂泡沫塑料、海绵橡塑保温材料、软木等产品。

2. 1995 年、1998 年、2000 年的数据来源：《建筑材料咨询报告》。2000 年以后数据来源：中国建材工业协会。

国内绝热保温材料业存在的主要问题是生产成本上升，主要是能源涨价，运输涨价、原材料涨价所造成；生产和市场不规范，有些企业不按标准生产，产品质量参差不齐，市场也不规范，存在着企业互相低价抢占市场的现象；应用技术发展滞后，在应用技术研究方面还没有形成系统，设计、配套水平低，影响了保温材料的推广应用。

6.1.3 中国保温材料的发展方向和对策

中国保温材料的发展趋势主要体现在以下几个方面。

i．注重现有保温材料产品性能的提高、生产技术的改进和生产成本核算的降低。针对各种保温材料生产和使用中的问题加以改进和提高，如聚氨酯泡沫塑料向无氟利昂发泡剂及提高阻燃性方向发展，硅酸钙保温材料向超轻质全憎水方向发展以及提高各种保温材料使用寿命，从而节约原材料和能源。

ii．研制多功能复合保温材料，提高产品的保温效率和扩大产品的应用范围。目前使用的保温材料在应用上都有存在着不同程度的缺陷。如硅酸钙在含湿气状态下，易产生腐蚀性的氧化钙；玻璃纤维易吸收水分，不适用于低温环境，也不适用于 540℃ 以上的温度；矿物棉同样存在着吸水性，不宜用于低温环境，只用于不存在水分的高温环境下；聚氨酯泡沫与聚乙烯泡沫不宜用于高温下，而且易燃、收缩、产生毒气；泡沫玻璃由于对热冲击敏感，不宜用于温度急剧变化的状态下。所以，为了克服保温隔热材料的不足，各国纷纷研制轻质多功能复合保温材料。

iii．强调保温材料工业的环保性，发展绿色保温材料制品。国外非常重视保温材料工业的环保问题，从原材料准备、产品开发及使用以及日后的处理上，都要求最大限度地节约资源和减少对环境的危害。

中国在保温材料的发展上采取从实际出发，同时借鉴国外的成功经验的原则。在建筑保温上以发展矿物棉、泡沫塑料等产品为主，玻璃棉、膨胀珍珠岩等多种产品共存。工业保温上则形成以硅酸铝纤维、硅酸钙制品、矿物棉、膨胀珍珠岩和泡沫塑料等到多品种、多材料共存的格局。在技术发展趋势上，第一，强调产品生产、应用过程中的“绿色”含量，减少保温材料产品生产过程中的能耗与污染物排放量，考虑产品的可回收再利用性。尽量减少对天然矿物质的需求，采用废弃物为生产原料。继续完善、开发日用废塑料制品为主要原料的

建筑保温隔热制品，液态渣的矿棉生产技术以及开发以植物纤维为主要原料的纤维质保温材料。发展无石棉硅酸钙保温隔热制品。第二，开发应用建筑“外保温”技术及其保温隔热制品。这是近期保温隔热制品新产品开发的主攻方向。重点开发适合中国民用建筑体系、性能和经济条件满足“外保温”技术要求的块、板状制品。第三，产品本身的性能向多功能化方向发展。现在很多保温隔热材料应用领域，不但要求材料具有保温、隔热作用，还要求材料应具有一定的强度、防火等其他特殊性能。建筑“外保温”技术用的块、板材料暂未能得到令人满意的解决，主要就是轻质隔热和强度、价格没有得到很好的“统一”。第四，纳米等高新技术的发展，有可能对保温隔热材料的生产带来革命性的变化。如在纤维质保温隔热材料的成丝过程中，加入具有远红外性能的陶瓷纳米材料，制品的保温、隔热性能会有所提高。

6.2 建筑保温隔热材料的基本特征

保温材料在中国热力工程的应用中是这样定义的：以减少热量损失为目的，在平均温度等于或小于 623K (350℃) 时，热导率小于 $0.12\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料，称为保温材料。在一般的建筑中，过去人们把在常温 (20℃) 下，热导率小于 $0.233\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料称为保温材料。所以建筑墙体或屋面用的密度小于 $700\text{kg}/\text{m}^3$ 、热导率为 $0.22\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的加气混凝土也属于保温材料。

建筑保温材料是建筑材料的一种。在不同领域应用的以保温隔热为目的的材料叫法有多种，如保温材料、保冷材料、隔热材料、热反射材料等。应该说，这些名称是有一定差异的，如保温是防止室内热量散失，而隔热是防止外部热量进入，因此人们将上述材料冠以一个总的名称，称为绝热材料。中国绝热（隔声）材料协会就是采用上述材料的总称。GB/T 4132—1996《绝热材料及相关术语》中对绝热材料所下的定义为：用以减少结构物与环境热交换的一种功能材料。有的书上将热导率不大于 $0.233\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料叫绝热材料，热导率小于 $0.14\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料叫保温材料。实际上，绝热材料和保温材料从产品的形式或种类上并无区别，因此，严格讲，应将各种名称统一为国家标准中规定的名称为好。但本书所讨论的主要是建筑上使用的用以保温节能的材料，故习惯上仍沿用保温隔热材料的名称，有时也简称为保温材料。

6.2.1 保温隔热材料的作用机理

在理解保温隔热的原理之前，先了解传热的原理。传热是指热量从高温处向低温处的自发流动，是由于温差而引起的能量转移。在自然界中，无论是在一种介质内部，还是两种介质之间，只要有温差存在，就会出现传热过程。传热的方式有三种：传导传热、对流传热、辐射传热。传导传热是物体内质点（分子、原子、电子等）作热运动时相互碰撞所引起的热量传递过程，其特点是物体各部分之间不发生宏观的相对位移；对流传热只能在液体和气体中出现，是依靠流体发生相对位移而引起的热量传递，其特点是传热过程中伴 Γ 流体的宏观运动；辐射传热是依靠物体表面对外发射电磁波而传递能量的现象，其特点是传热过程中，不仅要产生能量的转移，而且还伴随着能量形式之间的转化，即从热能转化为辐射能或者从辐射能转化为热能，同时，辐射传热不需要借助于任何介质。因此，要实现保温隔热，就要使材料的导热、对流、热辐射降到尽可能小。

实际传热过程中，很少存在着某种单一的传热方式，常常是一种形式伴 Γ 另一种形式同时出现。如空气和建筑墙面之间的传热，既包括空气内质点位移而产生的对流，也包括空

气与墙面边界层内传导传热。建筑材料的传热主要是靠传导传热，由于建筑材料内部孔隙中含有水分和空气，所以也有对流和辐射传热，但对流和辐射所占比例很小。

衡量材料导热能力的主要指标是热导率 λ 。 λ 的物理意义是单位时间内沿等温面法线方向每单位长度温度降低 1°C 时单位面积以传导方式所传递的热量。 λ 值越小，材料的导热能力越差，保温隔热性能越好。因此，设计和生产保温隔热材料主要就是尽量降低材料的热导率。

6.2.2 建筑保温隔热材料的基本特征

建筑保温隔热材料的共同特点是轻质、疏松、呈多孔状或纤维状，以其内部不流动的空气来阻隔热的传导。

建筑材料的热导率在 $0.023\sim 3.49\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 范围内，热导率大多随温度的升高而增大。有资料介绍，建筑上对保温隔热材料的基本要求是：热导率不宜大于 $0.17\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ （这与前面所提到的有一定差别），表观密度小于 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，抗压强度大于 0.3MPa 。一般优质的保温隔热材料热导率在 $0.035\sim 0.07\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间。

但不同的保温隔热材料有不同的特性。有的保温隔热材料可以在 1000°C 以上的条件下较长期地使用，而不降低其保温隔热性能；有的保温材料可以在很低的负温下使用而不脆断；有的保温材料（发泡聚苯乙烯板）使用温度不到 100°C 就开始收缩，温度继续升高就会熔化，甚至燃烧；有的保温材料易燃，有的根本不燃烧；有的保温材料易吸水，质量吸水率可达 $200\%\sim 300\%$ ，有的则几乎不吸水。多数有机保温材料在太阳光紫外线较长时间照射下，容易变质，抗老化性能差。

就是同一保温材料在不同环境下使用，其性能差别也会很大。即使同一保温材料用于相同建筑同朝向的外墙保温，由于设计构造不同，或保温方式不同，或施工操作不同，其保温效果也不一样。

6.2.3 影响保温隔热材料性能的主要因素

如前所述，材料的热导率是保温隔热材料的主要性能，因此，影响热导率的因素也是影响保温隔热材料性能的主要因素。

6.2.3.1 材料的化学组成及结构

不同化学成分的材料其热导率有很大的差异。通常，金属热导率最大，一般在 $2.3\sim 419\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 范围内，其中，银的热导率为最大 $[419\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 。其次为非金属，液体较小，气体则更小。非金属中有机材料一般又较无机材料热导率为小。化学成分相同而结构不同的材料热导率也不同。一般晶体材料的热导率较大，微晶体次之，玻璃体最小。但对于多孔保温隔热材料而言，由于孔隙率较高，气体的热导率起主要作用，而固体部分无论是晶态或玻璃态对热导率影响都较小。

6.2.3.2 材料的表观密度、孔隙率和孔隙特征

材料的表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。材料的孔隙率是材料中孔隙所占的容积与材料的总体积的百分比。表观密度与孔隙率有相关性。孔隙率越大，表观密度越小。此外，表观密度还与材料孔隙中的含水程度有关，孔隙中含有水分时，表观密度也会发生变化。

由于固体物质的热导率比空气的大很多，因此，表观密度小的材料孔隙率大，热导率也小。当孔隙率相同时，孔隙尺寸小而封闭的材料由于空气对流作用的减弱，比孔隙尺寸粗大且连通的孔有更小的热导率。如果孔隙中开口孔较多且不做处理时，虽然孔隙率高，也会大

大降低保温隔热性能。

6.2.3.3 材料所处环境的温度和湿度

当材料受潮后，由于孔隙中增加了水蒸气的扩散和水分子的传热作用，致使材料热导率增大 [$\lambda_{\text{水}}=0.58\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, $\lambda_{\text{空气}}=0.029\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]。而当材料受冻，水变成冰后，其热导率将更大 [$\lambda_{\text{冰}}=2.33\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]。因此保温隔热材料使用时要注意防潮防冻。温度升高时材料固体分子的热运动增强，同时材料孔隙中空气的导热和孔壁间的热辐射作用也会有所增强，材料的热导率将随之增大。但是当温度在 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内变化时，这种影响并不显著，只有在高温或负温下才考虑温度的影响。

6.2.3.4 热流方向的影响

材料如果是各向异性的，如木材等纤维质材料，当热流平行于纤维延伸方向时受到的阻碍力小，而热流垂直于纤维延伸方向时受到的阻力最大。例如松木，当热流垂直于木纹时 $\lambda=0.175\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，平行于木纹时 $\lambda=0.349\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

此外，在评价材料的保温隔热性能时，也常用以下一些指标。

① 热阻系数 (r) 它是热导率的倒数，单位为 $(\text{m}\cdot\text{K})/\text{W}$ 。

② 热阻 (R) 指在稳定状态下与热流方向垂直的物体两表面温度差除以热流密度，单位为 $(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$ 。热流密度则指垂直于热流方向的单位面积热流量，单位为 W/m^2 。

③ 表观热导率 (λ_a) 表征材料在传导和辐射等复杂传热情况下的特性，与测试条件无关，单位为 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

④ 传递系数 (τ) 指在传导和辐射共同作用下材料热性质的测量值，与测量条件有关，单位为 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

⑤ 传热系数 (Δ) 指稳定状态下通过物体的热流密度除以两表面的温度差，单位为 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

6.3 常用保温隔热材料

6.3.1 保温材料的分类

对保温材料分类，目前国内尚未有统一的标准，以下是按国外的部分分类方法和中国习惯的方法进行分类。

6.3.1.1 按保温材料的材质分类

按保温材料的材质可以把保温隔热材料分为：有机保温隔热材料、无机保温隔热材料、金属保温隔热材料。这是最常见的一种分类方法。

6.3.1.2 按保温材料的使用温度分类

按保温隔热材料的使用温度可以分为：耐高温 (700°C 以上使用) 保温隔热材料、耐中等温度 ($100\sim 700^{\circ}\text{C}$ 使用) 保温隔热材料、常温 ($0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 使用) 保温隔热材料、低温 ($-30\sim 0^{\circ}\text{C}$ 使用) 保冷材料、超低温 (-30°C 以下使用) 保冷材料。

实际上，对多数保温隔热材料来讲，并没有严格的温度使用界限。但对于有机保温隔热材料而言，是有严格的温度使用界限的，否则，不仅会影响保温工程的质量和长期使用效果，而且还可能引发火灾和中毒事故。对防火等级要求高的建筑，一定要选用不燃或难燃的保温材料，一般工程也最好用阻燃型保温隔热材料。

6.3.1.3 按保温隔热材料的密度分类

按保温隔热材料的密度可分为：重质 (密度大于 $350\text{kg}/\text{m}^3$) 保温隔热材料、轻质 (密

度为 50~350kg/m³) 保温隔热材料、超轻质 (密度小于 50kg/m³) 保温隔热材料。

6.3.1.4 按保温材料的压缩性能分类

按保温隔热材料的压缩性能可以分为：软质 (可压缩 30%以上) 保温隔热材料、半硬质 (可压缩 6%~30%) 保温隔热材料、硬质 (可压缩 6%以下) 保温隔热材料。

6.3.1.5 按保温隔热材料的形态分类

按保温隔热材料的形态分为：多孔保温隔热材料、纤维保温隔热材料、粉状保温隔热材料、膏状保温隔热材料等。按形态分类示例见表 6-2。

表 6-2 常用保温材料示例

按形态分类	材料名称	制品形状
多孔状	聚苯乙烯泡沫塑料	板、块、筒
	聚氯乙烯泡沫塑料	板、块、筒
	泡沫玻璃、聚氨酯泡沫塑料	板、块、筒
	改性菱镁泡沫制品、加气混凝土	板、块
	微孔硅酸钙、珍珠岩制品	板、块、筒
纤维状	岩棉、矿渣棉	毡、筒、带、板
	玻璃棉	毡、筒、带、板
	陶瓷纤维、硅酸铝纤维棉	毡、筒、带、板
	稻草板	板
	软木、木丝板、木屑板	板
粉末状	膨胀珍珠岩	粉
	硅藻土、硅酸盐复合保温粉	粉
	膨胀蛭石	粉
膏状	硅酸盐复合保温涂料	膏、浆
层状	金属箔、纸玻纤维铝箔、铝箔	夹层、蜂窝状、单层
	金属镀膜	多层状、单层
	绝热纸	层状、单层、多层
	绝热塑料反射膜	层状、单层、多层

6.3.2 无机保温隔热材料

无机保温隔热材料是用矿物质原材料制成的保温隔热材料，常呈松散粒状、纤维状和多孔状，可制成板、片、卷材或有套管型制品。其种类很多，下面择其主要品种做一介绍。

6.3.2.1 矿物棉

矿物棉是指由熔融岩石、矿渣 (工业废渣)、玻璃、金属氧化物或瓷土制成的棉絮物的总称。包括岩棉、矿渣棉、玻璃棉、硅酸铝棉、粒状棉等。

(1) 岩棉和矿渣棉

岩棉是由天然火成岩 (如玄武岩或辉绿岩) 等矿物为主要原料，掺入少量的白云石、矿渣并和燃料 (焦炭) 在冲天炉 (或火焰窑或电阻炉) 中于 1400~1500℃下熔化后，用压缩空气喷吹法或离心法制成。纤维直径 4~7μm，长度为 4~5mm。在成棉的同时加入黏结剂 (如热固型水溶性酚醛树脂、沥青、淀粉、水玻璃等)，黏结剂含量为 1%~3%，以加强

产品纤维间的粘接力，并改善产品的防水性和纤维的柔软性。为防止粉尘的飞扬，成棉过程中还加入防尘油和增水剂等材料。经上述成型后的岩棉，送入固化炉，在固化室温度约200℃下，纤维间的黏结剂即固化，出固化炉冷却后，按产品要求的规格尺寸进行切割，即成为岩棉制品。黏结剂含量为3%的称为岩棉板；黏结剂含量为1%的称为岩棉毡。

矿渣棉是用工业废料矿渣为主要原料（如高炉矿渣）同时掺入一定量的石灰石或白云石，在略低于岩棉熔融的温度下于冲天炉（或火焰窑或电阻炉）内熔融后，用高速离心法或压缩空气喷吹法使其纤维化，通过风选或水洗除去纤维中的渣球和杂质制成。其制品工艺与岩棉类似。矿渣棉纤维直径一般小于7μm。矿渣棉及其制品有一定的吸水性，但不渗入纤维内部。

岩棉和矿渣棉的两种生产方法（喷吹法和离心法）中，离心法较为先进，生产的矿物纤维长，含粒子小，是目前生产中采用的主要方法。

由于岩棉本身不含游离硫，渣球含量远较矿渣棉低，且岩棉制品多采用憎水性树脂作黏结剂，树脂固化程度高，故吸湿率低，耐水性较矿渣棉高。纤维长，化学耐久性也较矿渣棉好，但生产成本稍高。

岩棉和矿渣棉生产的主要优点是原料来源广，成本低，产量大。如美国采用高炉矿渣及其他矿渣；法国使用高炉矿渣加玄武岩和辉绿石；德国使用灰泥；日本使用矿渣、天然岩石和火山灰为原料。这两种材料是世界上最普及的保温隔热材料。

岩棉和矿渣棉具有质轻、不燃、耐热、耐侵蚀、绝热和电绝缘、隔音等性能。其品种是很多的，主要有松散填料、软毡、硬毡、各种硬板、管套、带等。可用于墙体保温、屋面保温和地面保温等几个方面。其中，墙体保温最为主要，可采用现场复合墙体和工厂预制墙体两种形式。前者中的一种是外墙内保温，即外层采用砖墙、钢筋混凝土墙、玻璃幕墙或金属板材，中间为空气层加岩棉矿层，内侧面采用纸面石膏板。另一种是外墙外保温，即在建筑物外层贴加岩棉层，再加外饰层，其优点是不影响建筑的使用面积。外保温层是全封闭的，基本消除了冷热桥现象，保温性能优于外墙内保温。工厂预制复合墙体即各种岩棉夹芯复合板。

进行绝热保温施工时，要求被保温的表面要干净、干燥。对易锈蚀的金属表面，可先做适当的防腐涂层。保温接头的对接必须紧密，以减少热损失。采用多层保温时，各层的接缝应交错叠置，避免出现冷热桥。低温下的保温，冷面要加防汽层，用于室外保温或易受损部位，外部宜用金属或塑料包裹，并注意接头、接缝的密封和包层的重叠。对大面积的岩棉制品保温，需加保温钉。对于有一定高度，垂直放置的保温层，要有定位销或支承环，以防止保温材料在震动时滑落。

（2）玻璃棉

玻璃棉是玻璃在高温下熔融，从细孔流出用空气喷吹而成的短细纤维。建筑业中常用的玻璃棉分为两种，即普通玻璃棉和普通超细玻璃棉。超细玻璃棉又分为有碱超细玻璃棉和无碱超细玻璃棉。普通玻璃棉的纤维长度一般为50~150nm，纤维直径12μm，而超细玻璃棉直径一般在4μm以下，其外观洁白如棉，手感柔软，对皮肤无刺激发痒感。

玻璃棉的生产除使用天然原料外，还可以使用人工合成材料或经过提纯的原料以提高产品的理化性能和隔热效果，同时大力利用废玻璃及寻找低廉的原材料，以降低生产成本。生产方法多采用先进的离心喷吹法生产玻璃棉，用燃气喷吹法生产超细玻璃棉。离心喷吹法生产的玻璃棉技术经济指标先进；燃气喷吹法生产的超细玻璃棉其纤维长、弹性好。

玻璃棉及其制品也是世界上很普及的一种保温隔热材料。具有质轻（容重仅为矿渣棉或岩棉的一半左右）、热导率低[约为0.037~0.039W/(m·K)]、生产品种多、保温效能高、