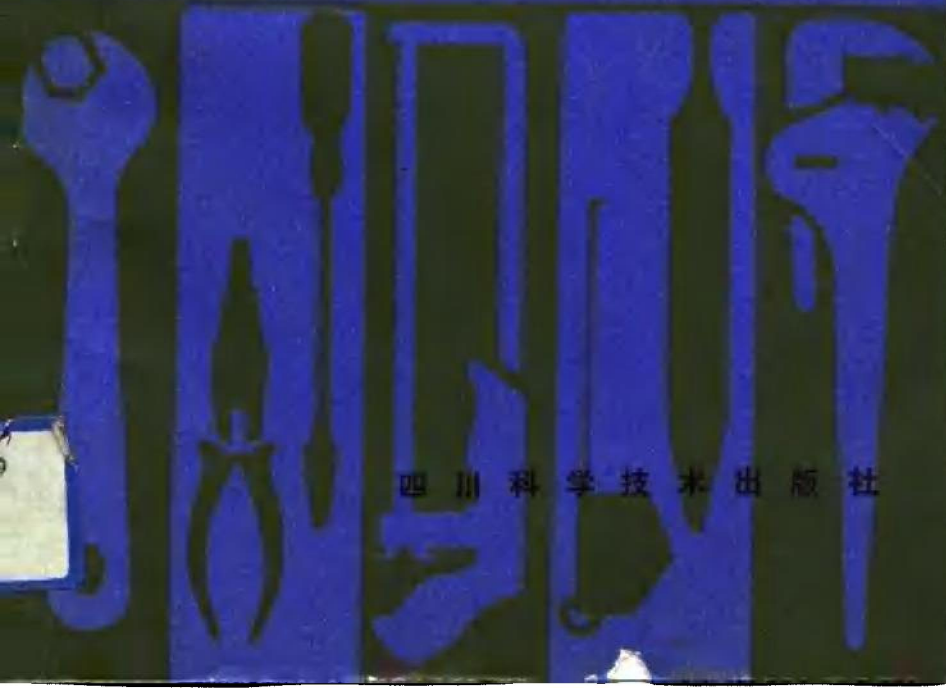




工人技术读物

新型轻质保温材料

陈克建 洪荣洋 编



四川科学技术出版社

责任编辑：崔泽海

版面设计：翁宜民

新型轻质保温材料

陈克建 洪荣泽编

出版：四川科学技术出版社

印刷：资中县印刷厂

发行：四川省新华书店

开本：787×1092毫米1/32

印张：6 插页：2

字数：133 千

印数：1—3,100

版次：1985年2月 第一版

印次：1985年2月第一次印刷

书号：15298·72

定价：1.15元

前 言

开发与节约并重，是国家对能源问题的方针。节约能源除了各种技术措施外，推广应用保温绝热材料，对节能是很有效的措施。过去出版的建材方面书籍，对保温绝热材料作过零星的介绍，而本书对无机的纤维、粒状、多孔保温材料，和各种有机泡沫保温绝热材料，作了较为系统的阐述，对各种保温绝热的性能、生产工艺、使用范围和主要方法，作了简明扼要、通俗易懂的介绍，并配以必要的插图。最后附有保温材料热物理系数表，供读者查阅。

保温绝热材料既系新型建筑材料的一大类，也是热工设备、冷藏装置的围护结构材料。因此，本书可供建筑设计及施工部门、建材工业部门技术人员和技术工人阅读，也可供冶金、机械、石油、化工、国防工业及需用保温绝热材料的一切部门有关人员参考。

本书第三、四、五、六章由成都工农保温材料厂陈克建同志执笔，第一、二章由公安部四川消防科研所洪荣泽同志执笔。在编写过程中得到上海同济大学祝永年副教授、重庆特殊钢厂张光华工程师、成都无缝钢管厂龙志仁工程师、德阳耐火材料厂吴志坚工程师、上海塑料制品七厂、北京建筑公司、成都市金牛区科委和建筑工业出版社、四川科技出版社编辑的帮助与指导，在此一并致谢。

由于时间仓促，水平有限，错误遗漏在所难免，敬请读者不吝指正。

编 者

1983年10月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 保温绝热材料的作用.....	(1)
第二节 国内生产状况.....	(3)
第三节 国外保温材料的发展.....	(5)
第四节 加快发展保温绝热材料.....	(7)
第二章 热学的基本知识	(10)
第一节 热的传递.....	(11)
第二节 绝热材料的基本性质.....	(15)
第三节 热物理系数.....	(18)
第四节 材料的导热性.....	(22)
第五节 保温绝热材料的基本要求.....	(26)
第三章 无机纤维保温绝热材料	(28)
第一节 特性和生产工艺.....	(28)
第二节 石 棉.....	(29)
第三节 岩 棉.....	(35)
第四节 矿渣棉.....	(39)
第五节 玻璃棉.....	(44)
第六节 纤维板.....	(47)
第七节 硅酸铝纤维.....	(48)
第四章 无机粒状保温绝热材料	(64)
第一节 一般质性.....	(64)

第二节	珍珠岩和膨胀珍珠岩	(64)
第三节	蛭石和膨胀蛭石	(96)
第五章	无机多孔保温绝热材料	(105)
第一节	基本特性	(105)
第二节	硅藻土	(106)
第三节	轻质无机耐火保温材料	(117)
第四节	加气混凝土	(134)
第五节	泡沫混凝土	(141)
第六节	泡沫玻璃	(147)
第七节	微孔硅酸钙	(150)
第八节	浮 石	(152)
第九节	石膏板	(153)
第十节	蜂窝板	(157)
第六章	有机保温绝热材料	(160)
第一节	泡沫塑料及其特性	(160)
第二节	聚苯乙烯泡沫塑料	(162)
第三节	聚氯乙烯泡沫塑料	(168)
第四节	聚胺酯泡沫塑料	(170)
第五节	脲醛和酚醛泡沫塑料	(172)
第六节	钙塑板	(174)
第七节	铝箔波形纸保温绝热板	(176)
第八节	软木板、木丝板	(178)
第九节	麻屑板、甘蔗板、稻壳板	(181)
第十节	毛 毡	(183)
附表 1	保温绝热材料热物理系数表	(185)
附表 2	几种轻质保温材料吸湿吸水性	(188)
附表 3	本书所用非法定计量单位换算表	(188)

第一章 概 述

材料科学是新兴的一门综合性科学，保温绝热材料是其研究的一个内容，它是一种功能性材料，既是建筑材料的一大类，又是热工设备、窑炉需用的围护结构材料。工业和民用建筑、工业生产上的热工设备、锅炉、管道等需用大量保温材料。推广使用轻质保温绝热材料，对于节约能源有重大意义，这是世界性的一种发展趋势。

第一节 保温绝热材料的作用

人类早期生活中，就知道用天然纤维如树皮、麻、棕、棉等来保温取暖。近代生产发展的需要，和人们生活水平的提高，早已感到天然纤维不能满足保温绝热的要求，而开发绝热性能更好的天然矿物，或者人工制造、合成纤维、泡沫塑料，做成需要的各种形状以保温隔热，阻止热量的散失或吸收，节约能源，降低成本，使生产能迅速发展。

保温绝热材料，主要有以下四个方面的作用。

1. 节约能源的作用：这是保温绝热材料的主要功能。随着国际能源危机的出现，我国能源紧张，有限的能源利用率低，仅在30%左右。国家采取开发与节能并重的方针，而推广应用保温材料，是节能提高热能利用率的有效措施。因

而,近几年来保温材料工业有了很大发展,出现了性能良好的玻璃棉、矿渣棉、泡沫塑料、钙塑板、硅酸铝纤维等十多种新型保温材料。经测试,使用硅酸铝纤维可节约能源20~30%,用矿棉、岩棉、玻璃棉等高效保温材料,代替珍珠岩等老品种,每立方米每年可节省煤10吨左右。建筑业是保温材料的最大用户,在工业发达的国家,占保温材料总用量的70~80%。使用矿棉1吨,每年可节约2.5~3.7吨标准煤。用25cm厚的加气混凝土墙,比用49cm厚的砖墙室内温度可提高2~3℃,每平方米建筑面积每年可少用取暖煤7.5kg,这对我国北方工业和民用建筑都是很有益的。高能耗的冶金工业部门,若全部采用硅酸铝纤维保温绝热,则其节能效果是非常可观的。

2. 保证生产工艺所需要的温度:冶金、机械、石油、化工、建材等生产过程,有的需要保持很高的反应温度,有的工业设备如窑、炉、塔、罐、烘箱、锅炉等需要保持一定的温度,才能保证生产的顺利进行。有的工艺过程和设备要保持低温,如制冷制冰、冰箱、冷冻库等,要隔绝外界热源不传入。简而言之,就是要绝热保温或保冷,阻止热交换、热传递的进行,保证生产工艺所要求的高温或低温,这是需要保温绝热材料来完成的。此外,绝热材料对防止高温厂房的水滴凝聚、蒸汽管道蒸汽的液化、冷水管道与设备的冰裂等,以及对改善职工劳动条件都是有益的。

教学、科研、企业及高级建筑,电子计算机及很多贵重仪器仪表,要放置在空调间内,有的实验条件也要在恒温恒湿条件下进行。墙壁、门窗就要绝热材料密封保温;农业生产上的温室育秧、养蚕等,同样可用保温材料,防止热量的散失。

3. 具有隔热防火作用:绝热材料多数是在高温下使用,这就要求它在高温下不燃烧,还能隔绝热源,不使热

量传递到周围可燃物体上，而使这些物体达到燃点引起火灾。虽然，钢结构房屋一般是不燃烧的，但钢材在 700°C 左右高温下15分钟内就会变形垮塌，需用绝热材料将钢屋架加以包覆保护。开发新能源、建热、核电站等，很多部位要用耐高温的绝热材料。电算机室、电厂、供变电站等，地下电线电缆密如蛛网，要绝热材料分隔防火。高层建筑的防火门、防火分隔要用绝热材料作防火隔热夹层。船舶要用保温绝热材料，将油舱与机舱、货舱、生活区分隔，以免机器高温打火而将油、可燃物引燃而致船毁人亡。空间技术的火箭在穿过大气层时，温度高达三、四千摄氏度，燃烧室内温度高达 4000°C ，必须用耐烧蚀绝热性能很好的材料，将外壳和仪表舱、宇航员座舱包覆绝热保护。

4. 减轻建筑、船舶、设备自重的作用：保温绝热材料多系轻质、疏松、多气孔或空心的材料，容重轻，可预制成所需要形状的材料，还可现场浇注，施工方便，适宜作高层建筑的墙体，减轻了基础的荷载。如用加气混凝土较用砖混的建筑，每平方米减轻1吨，每户因此可增加使用面积几平方米。船舶要增加运载能力，同样吨位的船舶，若用轻质绝热材料做舱壁，可大大减轻船舶自身的重量，相应增大了其运输能力。热工设备出于保温和减轻本身重量的要求，都宜用轻质保温材料作围护结构，既减轻了设备自重，也减少了围护结构的厚度和重量。

第二节 国内生产状况

建国初期，国内多用天然石棉、软木、刨花、木屑、稻草及炉渣之类作保温材料。工业窑炉主要用耐火砖。第一个

五年计划期间，由于冶金、机械等工业的发展，对保温隔热材料的需求增多，带动了保温材料的发展，相继建立起玻璃棉、矿物棉、膨胀蛭石等保温材料厂。六十年代，泡沫塑料、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩的生产发展较快，而且还发展了加气混凝土和粉煤灰加气混凝土等保温材料新品种。

随着四化建设发展的需要，七十年代，膨胀珍珠岩、泡沫塑料等生产厂，几乎遍于全国各省、市、自治区。在改造和新建工业窑炉中，这些保温材料起到了良好的节能保温作用。由于世界性的能源危机，为节能需要促进了保温绝热材料的发展。新型的绝热材料如硅钙板、岩棉、矿棉、泡沫塑料、硅酸铝纤维等得到了较大的发展。特别是硅酸铝纤维导热系数小，耐高温等优点，受到国家重视，用户的好评，而在上海、北京、天津、南京等地广泛应用。用焦宝石原料生产普通硅酸铝纤维已达3000吨以上，并能成批生产高纯硅酸铝纤维、高铝纤维和含铬硅酸铝纤维。多晶莫来石纤维、多晶氧化铝和氧化锆纤维已研制成功。1981年我国在北京建成了第一条岩棉生产线，批量生产容重小于 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 的岩棉及其制品，据测试 1m^3 岩棉制品可节省标准煤3吨。

自熄性的聚苯乙烯塑料珠粒，容重小于 $20\text{kg}/\text{cm}^3$ ，遇火可燃而离火自熄。泡沫聚苯乙烯的制品，有容重小于 $280\text{kg}/\text{m}^3$ 的超轻质隔热保温制品。

我国还有氧化铝空心球、轻质绝热石膏板、微孔硅酸钙、装饰石膏板、浮石混凝土及高温发泡涂料和高温粘结材料的生产。某科研单位曾研制了一种石棉水玻璃隔热防火涂料，其主要成分是石棉粉与水玻璃，再加入少量的硅藻土和硬化剂偏硼酸钙、增塑剂配成涂料，涂于钢屋架上约4mm厚，即可将钢材的耐火极限提高到45分钟，为原来耐火极限的3倍。

第三节 国外保温材料的发展

工业发达的资本主义国家，保温绝热材料从使用天然矿物如石棉等，到用无机纤维、有机泡沫塑料。现在多向无机与有机材料结合、非金属与金属材料结合的复合材料方向发展。复合材料由于集中了各种材料的优点，绝热性好，强度高，使用寿命长，普遍得到用户的欢迎。

日本生产的岩棉及其制品，用钢丝网作成增强板。用石灰废泥加发泡剂、粘土和石膏，在 1000°C 下焙烧成一种绝热材料。用石膏及N-羟甲基丙烯酰胺作胶结剂，在常温下发泡，自然干燥，制品容重 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，导热系数 0.1 千卡/米·时·度。另一种矿棉毯容重为 $40\text{kg}/\text{m}^3$ ，用作屋顶、顶棚、楼板及隔音板。

美国利用磷肥工业下脚料二水石膏悬浮液，于蒸压釜内 $110\sim 140^{\circ}\text{C}$ 下进行热处理，形成细小的半水石膏针状晶体，将液相分离后烘干，即成硫酸钙的纤维状半水化合物，在晶体表面涂上憎水物防水化。

隔热性能良好的膨胀珍珠岩在国外已广泛使用，容重指标已达 $40\sim 150\text{kg}/\text{m}^3$ ，常温导热系数为 $0.025\sim 0.060$ 千卡/米·时·度，适用范围广，可用于 -196°C 到 $1000\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 广阔的温度范围。美国生产这种材料在密度控制方面很先进，能生产所需要的膨胀程度和密度。匈牙利将珍珠岩粉碎使其机械活化，加入碱液，在较低温度下烧成泡沫玻璃，可控制其膨胀尺寸、容重和吸水率。法国用废碎玻璃，加入适量的高效发泡剂而成发泡玻璃，容重 $150\sim 300\text{kg}/\text{m}^3$ ，抗压强

度高达 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，且不易燃烧，制成的大型膨体玻璃砖仅普通砖重量的 $1/3$ 。

最有发展前途的硅酸铝纤维，这种纤维一问世，就得到工业用户的欢迎。现在不仅生产普通硅酸铝纤维，还大量生产能在 $1000\sim 1300^\circ\text{C}$ 下长期使用的高纯硅酸铝纤维、含铬硅酸铝纤维、高铝纤维、多晶质纤维（莫来石）、氧化铝纤维、稳定性好的氧化锆纤维等多种耐高温纤维。

高分子合成树脂做成的泡沫塑料，早已广泛用作保温及包装材料。日本、西德生产的热固性聚氨酯泡沫，表面密实，内部为闭孔结构，容重轻为 $35\text{kg}/\text{m}^3$ ，粘结力强，复合强度高，吸湿性低。美国生产一种脲醛泡沫塑料，容重仅 $8\text{kg}/\text{m}^3$ 。

复合绝热材料更是日新月异，由于其综合性能好，成为各国保温材料发展的重点。生产的有泡沫塑料沥青毡，带铝箔的泡沫塑料板，彩色铁皮泡沫塑料夹心板，胶合泡沫塑料板，防潮纸的泡沫塑料板，聚氨酯和玻璃纤维做成的人造木材等等。

苏联生产一种珍珠岩混凝土塑料隔热板，是用膨胀珍珠岩、酚醛树脂、发泡剂和六次甲基四胺等原料，在一定温度下硬化而成，容重 $100\sim 175\text{kg}/\text{m}^3$ ，导热系数 $0.034\sim 0.04$ 千卡/米·时·度耐热、耐火性和强度都高，还可作承重结构。

美国研制成一种轻微敷金属处理的聚酯耐高温真空薄膜，通过薄膜将红外线传到微敷金属的外壁，又将红外线反射回去，因而热交换在两壁间受到控制，隔热效果良好，冬天能使室内温度提高 3°C ，夏天低 8°C 左右，价格比双层玻璃便宜 $3/4$ 。

国外还重视发展耐高温的绝热涂料。英国生产“曼多赖

特P20”的隔热涂料，是以蛭石、硅酸盐水泥为主要原料，加入发泡剂、固化剂等，导热系数为0.78千卡/米·时·度，可喷涂或刷涂。日本生产“依克多”喷涂隔热涂料，喷在隧道窑的外墙上，可节约燃料5~20%，施工费用节省一半。还有一种以钛酸钾为基质，以合成树脂作胶结剂的隔热涂料，绝热效果相当于10倍左右厚的其它材料。苏联一家工厂用火山灰与普通建筑材料混合，制成隔热灰泥，可使外墙减厚30%左右，隔热效果相同。

美国用玻璃纤维编织成带束，再用聚乙烯树脂液涂复成隔热纱窗，具有光扩散和反射的特性，夏季可遮断75%左右的太阳能。

总之，国外发展建材包括保温材料的总趋势，是从使用功能出发，提高其耐久性，同时具有保温、隔热、防火、隔音等多种功能，特别着重发展轻质高强的材料。另外，也从节能和节约资源出发，尽量减少或不生产耗能多的建材，有效利用工业废料，积极开发合成高分子材料。

第四节 加快发展保温绝热材料

建材工业是国民经济的先行官，各个工业部门的发展，很大程度要靠建材工业的发展。根据四化建设的需要和我国实际状况出发，包括保温材料在内的建材工业发展的主要途径是，一要改造原有的传统的建材，二要充分利用工业废料和地方资源，三要积极开展新型多功能的材料的研制。生产实践证明，保温材料应考虑下面几个方面：

1. 加速耐高温纤维制品的发展：要着重发展在高温条

件下使用不变形、不变质的无机纤维制品。当前，要全面推广在1000°C下使用的硅酸铝纤维，逐步推广在1300°C下使用的中档硅酸铝纤维，进一步研制和推广连续成纤、干法成毡的新品种，使高温型耐火纤维完成中间试验，投入批量生产。同时，要重视纤维成型及应用技术理论的研究，制定耐高温、耐火隔热纤维的标准和测试方法，为今后开发新品种打下基础。

2. 向高效、轻质、多功能的材料发展：发展轻质高效的绝热材料，并与其它材料合用，是近来国内外发展的一种主要趋势。现代建筑及工业设备，多要求保温材料具有轻质或超轻质、高强、大型、高效和耐高温、隔热、隔音、防火、防水防潮、耐磨耐火等多种功能的材料。比如，发展用有机胶结的矿棉、岩棉、硅酸铝纤维、磷酸盐膨胀珍珠岩，优质加气混凝土、中空保温玻璃、隔热和热反射玻璃等。这对节约能源、节约土地、缓和交通运输都有很大作用。

3. 发展复合保温材料：开发无机和有机、非金属与金属相结合而成的复合保温材料新品种，由于复合材料集中各种材料的优点，保温绝热、强度等各方面性能优异，可用作复合墙板、复合墙体。这类材料如玻璃纤维增强水泥、金属复合板、夹心板、复合轻质层面板、三聚氰胺塑料贴面的硅钙板等。用石棉水泥板、矿棉板和石膏板合成12cm厚，每平方米60kg的墙板，保温性能比37cm厚、730kg/m²的砖墙好得多，轻得多。

4. 发展高分子合成材料：有机合成高分子材料，虽然耐高温性能差，但它具有轻质、可现场喷注、施工方便的特点，工业发达国家的建筑塑料，已占塑料总产量的1/4。美国1979年已达350万吨用作建材，预计本世纪末将达1300万吨。

品种如聚氯乙烯、聚乙烯、脲醛、酚醛、聚酯、聚苯乙烯等，多是发泡做成泡沫塑料，也可喷丝做合成保温纤维，在建筑上和不超过100°C的热工设备上使用。

5. 尽量利用工业废料作原料：利用工业下脚废料做建材、保温材料，既解决了废渣排放的污染问题，又充分利用了废物，变废为宝，而且做成的保温材料性能好。比如，用磷肥厂排出的二水石膏，可制成硫酸钙纤维、磷酸盐膨胀珍珠岩；用冶金炉渣可生产矿棉；木材厂的刨花、木屑与水泥或其它胶结剂，可制成各种保温隔热材料；废玻璃可做发泡玻璃；粉煤灰可做成粉煤灰加气混凝土等。农业副产品棉杆、稻壳、芦苇等与水泥或其它胶结剂，也可做成各种保温材料。

相信，随着四化建设的进程，保温绝热材料也必将有个大发展。

第二章 热学的基本知识

热学是研究热现象的规律及其应用的科学，它是物理学的一部分。研究材料的绝热性能，不能不了解热学的一些基本知识。

分子运动论告诉我们，物质是运动的，任何物体的分子都在不停地作无规则的运动。热是这种分子混乱运动，互相碰撞而产生出的一种现象。发热则是物质分子运动内能改变的表现形式，物体分子运动平均动能的标志就是温度。温度是物体冷热程度的量度，分子运动速度越快、越剧烈，温度就越高。所以，人们把物体内部大分子无规则的运动叫做热运动。

热能是物体分子热运动的动能，是能量的一种形式，是内能的一部分。物体系统热能的增加导致温度的升高。热量是在热传递过程中物体内能改变大小的量度，或者说由于物体温度差别而转移了多少内能。简单地说，也是物体吸收或放出多少热。在不同温度下，热量总是由高温物体向低温物体传递，而达到新的热平衡。

物体由一个平衡态到另一平衡态的过程中，从周围所吸收的热量 Q ，其值等于它的内能增加值，减去外界对它所作的功 W 。可用下式表示：

$$Q = U_2 - U_1 - W$$

式中： U_1 ——物体原有内能值；

U_2 ——物体吸热后的内能总值。

热量的国际单位是焦耳(J)，实用单位为cal(卡)或kcal(千卡)。1克纯水温度升高或降低1℃时，所吸收或放出的热量叫做1cal，1000cal称为1kcal或1大卡。

温度是表示物体冷热程度的物理量，是分子平均动能大小的标志。使不同物体在不同条件下有个互相比较的表示法，较热的状态有较高的温度。常用温标来表示，国际上已采用开氏温标K(开尔文)，常用的温标是摄氏温标，以符号℃表示，规定在1个标准大气压下，纯水的冰点是0℃，沸点是100℃。

第一节 热的传递

物体内能的改变，可以通过做功和热传递两种方式来完成。我们这里主要讨论的是热的传递。

人们发现为使物体的热能得到充分利用，可以利用自然的热传递规律，把热量转移到生产与生活所需要的地方去。物体的热传递，实质上就是内能的传递。如果一个物体的温度升高，就说它得到了某些内能；温度降低，就说它失去了某些内能。某物体内能的减少，使另一物体内能增加，就是内能从某物体传递到另一物体去了。内能不仅可从一物体转移到另一物体，也可在同一物体的不同部分间进行转移，这种过程就叫做热传递。

实验证明，内能永远自发地从高温物体向低温物体传递，在其它条件相同的情况下，两物体的温差越大，内能传递越快，一直要进行到两物体温度彼此相等才会停止。按照能量守恒定律，高温物体放出的热量，等于低温物体所吸收的热

量。经过热传递而达到温度平衡时，我们就说达到了热平衡。若不与外界发生热交换和做功，则得到热平衡方程式：

$$Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$$

即 $C_1 m_1 (t_2 - t_1) = C_2 m_2 (t_1 - t_2)$

热量传递过程有热传导、对流、热辐射三种基本形式。在传热过程中，三者总是同时相伴发生，且是综合作用的结果。而热辐射是热传递的主要形式。

一、热传导

热传导又称导热，是物体中大量分子相互碰撞时传递动能的过程。是使热能从温度较高的物体或部分，传到温度较低的另一物体或同一物体的另一部分，而没有发生物质迁移的过程。热传导是固体物质传递的主要形式。在气体和液体中，热传导通常与对流传热同时发生而传递热量。

各种物质的热传导性质不同，金属材料特别是铜和铁等导热性能好，所以人们常用它来做热交换器、反应器。而石棉、蛭石、玻璃、软木等非金属材料和其它松软的物质，其导热性差，所以人们很早就用来做保温或绝热材料。气体比液体的导热性差，空气是热的不良导体，真空是最不导热的，因为没有分子碰撞来传递能量。热传导的强弱以导热系数表示。

二、对流

流动的物体如气体或液体，由于温度不同，以致密度相差而引起的分子循环流动而混合，引起热微粒子传播热能，使物体的温度趋于均匀的过程，称为对流传热或简称为对流。对流是气体和液体传热的主要形式。对流传热多是自