

JUERECAILIAO
YINGYONGJISHU

绝热材料应用技术

邹宁宇 鹿成滨 张德信 主编

中国石化出版社

绝热材料应用技术

邹宇宇 鹿成滨 张德信 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了近年来绝热材料的发展及其应用技术。全书共 13 章, 1~2 章介绍了传热、传湿及防潮理论, 以及绝热材料的基本性能; 3~7 章介绍了几类常用的新型绝热材料; 8~10 章分别介绍了绝热结构、工程设计与施工; 11 章介绍了绝热与被绝热对象之间的相互影响; 12~13 章介绍了管道绝热、设备绝热、低温技术及其实例。

该书内容丰富, 图文并茂。可供从事绝热材料生产和绝热工程设计、施工等单位的工程技术人员和管理人员使用, 亦可供科研单位及大专院校相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

绝热材料应用技术/邹宁宇, 鹿成滨, 张德信主编.
—北京: 中国石化出版社, 2005
ISBN 7-80164-796-3

I. 绝… II. ①邹… ②鹿… ③张… III. 隔热材料—应用 IV. TB35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 030394 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 33.25 印张 837 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

定价: 80.00 元



前



言

本书介绍的绝热材料及其相关的建筑与工业绝热(保温、保冷),是人类在新世纪里为维护生态环境,与自然和谐相处,为节约能源,实现可持续发展所做出的努力。

热和温暖是开始具有朦胧知觉的原始人类和各种动物最先产生的感受之一。在多雨丛林、雪野荒原、危机潜伏的寒冷夜晚寻求一块温暖、安全居地,是他们生存本能,尽力追求的目标。

热能,是人类最先接触的能量,普照大地、哺育万物的太阳,焚毁森林、惊吓猛兽的山火,是他们最早崇拜的自然现象。

由火产生的热能是人类最早使用的自然能源,是人类经过数十万年磨炼才取得的成就。原始人类高举火把,驱除黑暗,战胜严寒,不畏猛兽,进军世界各地,从此笑傲万物。在希腊神话中,普罗米修斯从太阳中盗得天火,送到人间,自身却被铁锁绑在外高加索山的悬崖之上;在俄罗斯传说中,勇士丹柯之心化为火炬,指引人们走出黑暗沼泽、深林。不朽神话,正是人类对自己伟大成就的回忆。

推动产业革命和近代社会发展的蒸汽时代的汽笛,电气时代的灯光,是近代文明日新月异的标志,也是人类掌握能源能力的升华。从此,技术历史进入使用石化燃料产生热能,并且使其转化为机械能、电能的时代。

开始用火,人类就开始使用绝热保温材料。最早的绝热材料无疑是篝火燃烧后的灰烬,是用树叶和兽皮编扎的披衣。在风雨交加的夜晚,人们总是小心翼翼地用厚厚柴灰将火种存于陶器之中,由德高望重的老年妇女仔细保管。火种代表温暖,火种象征生命。

今天,绝热材料是指不易传热、对热流具有显著阻抗性能的单一材料或复合材料。远在洪荒时代,人类始祖摆脱穴居、巢居生活,开始制陶、炼铜、煅铁,就用兽皮、树叶取暖,就使用石块、粘土、草木等天然绝热材料结庐而居,制造工具、武器,从而大大增强生存繁衍、防御风雨和向寒地迁徙的能力。绝热材料早与人类结下不解之缘。时至今日,世界上仍有赤身裸体的民族,但不存在荒居野处的部落。建筑对人类的重要,甚至超过服装。

产业革命的汽笛开始了绝热材料新的时代,大规模的机器生产在一定意义上就是在特定温度范围维持冶金、电力、化工生产中能力的化学反应和机械加工过程(包括保温和保冷),这对绝热材料发展产生巨大推动。

自18世纪开始,欧美各国就致力于绝热吸音材料的开发与应用(大多绝热材料也是吸音材料)。如美国在大洋之中的夏威夷观察到火山喷发的岩浆在强风中吹成棉絮的现象,受此启示开发岩棉生产技术,加拿大等地对石棉等天然绝热材料大规模开采利用。到20世纪,受益于机械、冶金和石化工业进步,美国和欧洲陆续开发出玻璃棉、聚乙烯等各类新型制品,并开始大工业生产。随着热工理论建立和逐步完善,简单的绝热施工过渡为系统的,以

节约能源、保护设备管道运行、提高工作效率、改善劳动条件、保护人员安全为目标的绝热工程。在美国、西欧和地处高寒地区的北欧各国，绝热材料产量有了很大增加，制品在建筑和工业应用日趋广泛。

至 20 世纪 70 年代，随着世界范围内的能源紧缺，人类生存环境日益恶化，环境保护意识得到加强，尤其是为解决数十亿人口安全，为创造舒适的生活环境和气候，节约能源、土地和森林资源，以实现可持续发展，绝热材料和绝热工程受到前所未有的重视。

绝热结构是指各类材料按照一定设计顺序进行排列、组合，从而实现预定绝热(保温、保冷)效果的结构。从广义上说，地壳就是一个最大绝热结构。正是几千米、几万米绝热性能良好的岩石、土壤、海洋隔离地下岩浆数千度高温，数百公里的大气保持地表温度的散布，阻绝太空深处接近绝对零度的酷寒，才在地球表面维持脆弱平衡，提供人类和各种生物必需的温度。

绝热材料的内涵也在不断变化。其实各类天然或人造材料都或多或少具有遮阻热阻的功能。按照 20 世纪 50 年代定义，导热系数不大于 $0.23\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的材料即为绝热材料。今天对绝热材料比较普遍接受的定义，是指只有那些在平均温度等于或者小于 350°C (623K) 时，导热系数不大于 $0.174\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，密度不大于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 的材料。到 20 世纪 90 年代《设备及管道保温技术通则》规定导热系数为 $0.12\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的材料，才可称为绝热材料。同时，人们将导热系数小于等于 $0.055\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的绝热材料称为高效绝热材料。

20 世纪 70 年代以来，为了节能，绝热材料家族异军突起，优胜劣汰，总的趋势是向高效、具有复合功能(绝热、吸音、防水、装饰、环保)方向发展。本书重点介绍的是领导 21 世纪潮流的高效绝热材料。

绝热材料种类很多。除按绝热能力划分以外，还有不同的分类方式。

按化学性质分类，有无机非金属材料、有机高分子材料和金属材料；

按状态分类，有纤维状材料、微孔状材料、气泡状材料和层状材料；

按来源分类，有天然材料和人造材料；

按适用温度分类，有耐火材料(使用温度 1000°C 以上)、高温绝热材料($250^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$)、低温绝热材料(250°C 以下)，适用温度在 0°C (273K) 以下又称保冷材料，还可进一步划分为普冷材料和深冷材料等等；

按密度分类，有轻质、超轻质和重质材料；

按压缩性质分类，有可压缩 30% 以上的软质材料，可压缩小于 6% 的半硬质材料和硬质材料。

随着科技进步，绝热材料家族成员日益增加，最近闪亮登场的明星，是导热系数低于静止空气的纳米绝热材料。

我国是资源大国，但在无比庞大数量的人口重负之下，人均资源极其有限，排名在世界 160 个国家与地区之后，不足世界平均水平的 $1/2$ ，发达国家的 $1/10$ 。我国能源短缺严重，并且具有持续、反复发生波动的特点。另一方面，计划经济体制又雪上加霜，推行高能耗、低成本、低效率的经济模式，致使我国能源利用效率低下，位居世界十大产能国末位，甚至

比同属第三世界的印度还低40%之多。随着经济高速发展,能源短缺和需求迅速增加的矛盾日益突出,成为制约经济发展的沉重桎梏,人民生活水平改善的巨大障碍。

在这种严峻形势下,国家提出了“开发与节约并重,近期把节约放在优先地位”的能源政策,国务院发布有关节约能源管理法规、设备及管道保温与保冷通则、民用建筑节能设计标准等文件,使我国节能工作步入经常化、法制化、规范化轨道,也有利于推动我国绝热材料行业的进步。我国真正意义上的绝热材料和绝热工程始于20世纪70年代后期,经过几十年艰苦努力,两代人筚路蓝缕,以启山林,我国绝热吸音材料行业取得令人瞩目的成绩,已经形成比较完整体系,产品质量明显提高,产品产量已超过100万吨,位居世界前列。据有关专家分析,每年通过绝热材料的应用所获得的节能效果,占有全国总能耗量的7%~10%,折合标准煤超过1亿吨,为经济建设和人民生活改善做出宝贵贡献,在建筑、工业、农业、交通、环保等方面发挥出难以替代的重要作用。

绝热工程是一整套为维护设备、管道生产能力及安全节约能源,防止和减少设备、管道、建筑与周围环境中热量交换措施而构成的系统。国家颁布的有关政策法规,是检验绝热工程性能优劣的标准。

石油化工聚集全国能耗的20%,石油化工中的管道设备绝热历来是绝热工程的重点。随着社会经济发展,建筑、交通能耗大幅上升,已超越石油化工系统而居首位。今日经济发达国家建筑能耗已达总能耗的50%。虽然集中程度远远不及石化行业,但量多面广,已成为新的绝热节能课题。

绝热材料是绝热工程的基础。绝热材料性能高低,是由材料自身性质决定,但在绝热工程、绝热效果之中,绝热材料只占较小比重。

绝热技术主要围绕提高保温效果,充分利用传热机理,积极开发新型保温绝热材料等进行研究,注重功能型、复合型产品的开发,结合国情用好用活各类保温材料及结构。并对整体使用条件、管道设备类型、介质温度、使用环境、地区合理设计与搭配,避免结构设计不合理,针对性差,散热损失超标,缺乏必要施工规范及操作规程,施工技术水平不高,缺乏质量监督及质量审核。保温效果及节能效益评价制度,可以使绝热材料的整体效果,超过各个部分的总和。因此,对绝热工程设计、施工、检测的重视程度,应超过对绝热材料自身性质的考虑。

伴随绝热材料性能和设计施工技术提高,绝热工程正向多功能、高效益方面迈进。在设计中,绝热工程应从管道、设备的绝缘、防腐,及建筑的防水、装饰、吸音、建筑舒适中体现以人为本的理念,因为提高建筑住宅的舒适度就是提高人的生活质量,提高对周围生态环境的保护及对能源的利用效率,是对人的健康和社会可持续发展的关注。也正是在这个意义上,绝热材料和绝热工程名符其实地成为随时代发展的朝阳工业。

我国大部分保温绝热材料是在20世纪80年代后才开始发展起来的,主要应用到石油、石化、化工、电力、冶金、轻纺、建材、热电联供等领域,品种及规格随工程的需要也在不断地扩大。目前较有发展的应用领域是:稠油热采注汽管线等中高温管线的保温;城市集中供热或热电联供用高温直埋管线的保温;建筑墙体及屋面节能用绿色保温绝热材料;核电工

程抗辐射及屏蔽用特殊保温材料；异型热力设备及管线保温绝热；冷管线及设备的保冷等。较新型的保温绝热材料有薄层反射隔热涂料、薄层热隔断热屏蔽材料、快速固化憎水型硅酸盐复合绝热涂料及型材、不含氟氯烃耐温聚氨酯泡沫、低热辐射传热材料及结构、无气喷涂耐火材料等。其近期的发展目标如下：

(1) 现有产品及技术的改进提高。即提高产品性能，扩大品种规格，降低成本，以满足不同用户的需要。各种保温材料应针对生产及使用中的问题加以改进提高，如聚氨酯泡沫向无氟里昂发泡及更高耐温性方向发展；硅酸盐复合绝热涂料向快速固化、憎水、提高粘结强度、降低密度、负温施工、降低成本用于建筑节能方向发展；复合硅酸盐制品向提高弹性及强度、提高耐温性、憎水方向发展；硅酸钙保温材料向超轻全憎水发展；珍珠岩制品向轻级、整体防水、改善脆性，提高强度方向发展；玻璃纤维、岩矿棉纤维向复合制品及建筑节能方向发展；硅酸铝纤维向干法、提高耐火度、降低高温下的收缩率及复合制品方向发展等。

(2) 研制生产复合型多功能保温材料及结构，提高保温效率及综合效益。各种保温材料各有特色，也有不足之处，应充分扬长避短。如有机类保温材料防水好，但耐温低；无机类保温材料耐温高，无热老化，强度高，但吸水率高，可复合使用则效果良好；纤维类保温材料中硅酸铝纤维耐温高，岩矿棉耐温低，若复合使用，可降低成本；硬质无机保温材料超轻憎水硅酸钙、防水珍珠岩保温性能好，抗振动，外观整洁，但对三通弯头需切削，加工麻烦；保温涂料及复合硅酸盐型材施工随意性好，可在同一管线的不同部位选择性能相近的不同材料复合，效果更好。不同使用条件对保温材料及结构会有一些特殊的不同要求，如高温、保冷、防水、防火、耐腐蚀、抗辐射、抗振动等，则要求使用多功能的保温材料及结构。

(3) 积极开发新型保温材料及相关技术。如低辐射传热材料及结构的研制，高效薄层隔热防腐一体化涂料，多层热遮断结构，真空绝热结构，隔热管托材料及结构，异型保温，补口技术等。有针对性的研制价廉适用的外护材料及施工工艺，提高整体节能效益，如复合隔热外护涂层、复合增强塑料布、仿金属材料、玻纤增强氯氧镁复合材料。

(4) 大力发展建筑节能保温材料及相关技术。国外建筑节能用保温材料占绝大多数，如美国从1985年以来建筑用保温材料占有所有保温材料的81%左右，特别是岩矿棉、玻璃棉、聚苯乙烯、纸面石膏板、大板及轻板围护结构等用量大，天花板集隔热隔音装饰为一体，外墙内喷涂聚合保温砂浆，有自然装饰效果。瑞典及芬兰等北欧国家80%以上的岩矿棉制品用于建筑节能。我国能源消耗中建筑能耗大约占全国能源消耗总量的1/3，而建筑用保温材料约占总量的11%左右，可见建筑节能潜力很大。有关部门已做出一系列规定，并有了相关的标准规范，不少城市已有了节能住宅示范小区，有力地促进了建筑节能技术的发展。在这方面国外已有成熟经验，可供借鉴。

(5) 适当加大保温厚度并增加保温投资。为最大限度地节约能源，国外许多国家在逐年加大保温厚度，相继修改有关保温标准及规范，如日本、美国、法国、英国。20世纪80年代较70年代保温厚度有的加厚了50%，对保温费用的投入由原来一般占设备总费用的2%

提高到4%~8%。采取这些措施大大提高了保温效率,综合经济效益高。

(6) 注重环保,利用“三废”开发保温绝热材料。环保越来越引起国家的重视,不少厂家的“三废”已成为阻碍企业发展的重要问题,而“三废”中有不少可以利用的化学成分,完全可以用来开发保温材料,部分替代或全部替代某种原材料,可降低成本,改善环境,并可免征所得税。

(7) 上档次、上规模是形成良性循环的关键。建材产品是利率较低的产品,靠规模化效益,我国保温产品重复建设较多,而且缺乏特色,档次上不去,缺乏竞争力,无序竞争互相压价。要使建材产品上档次、上规模,入关后更应注重档次、规模、名牌效应及无形资产效益。

(8) 有针对性地合理使用保温材料,完善配套技术。目前我国保温材料市场混乱,没有发挥各自的特色,造成浪费。随市场经济的逐步规范化,企业必然会更加注重效益,更合理地使用保温材料。厂家要扩大自身产品的使用范围,必须提高质量,完善配套技术。

(9) 保冷一直是绝热节能中的弱项,应注重保冷材料及结构的开发研究,提高保冷工程的质量。不能总停留在使用聚氨酯及泡沫玻璃的水平上,还可使用硬质防水珍珠岩制品、高密度聚苯乙烯泡沫及聚乙烯泡沫、薄层隔热涂料等,并开发新型复合结构及配套技术,可有效地降低成本,并提高保冷效率。

(10) 逐步开发纳米、亚纳米绝热材料及涂层技术,可以改善现有保温材料的性能。通过特定的均匀分散技术将其分散到特定载体中,该载体应是生产保温绝热材料所用添加剂、外掺料、防水剂或其他助剂。此时的纳米、亚纳米材料则以涂层的形式包覆于保温绝热材料颗粒或纤维表面,可改善其强度、耐磨性、热阻、辐射反射性能、耐温性、憎水性等。根据不同保温材料所需改善的特殊性能,可有选择地添加不同品种的纳米涂层。

多年以来,国家绝热材料与绝热技术不断兴旺、普及,积累了丰富的知识和经验。在本书的编写过程中,我们有幸与行业主要专家结识,受益良多。借此机会,特向中国科学院广州分院科技开发处处长、研究员刘民义,中国石油天然气总公司工程技术研究院高工、研究室主任莫理京、郑其俊,原冶金部耐火纤维推广站站长、冶金部马鞍山钢铁设计研究院教授高工崔之开,南京玻璃纤维研究设计院副总工、教授级高工毕道义、刘咸达、沈善燮、李鸿发,高工蒋伟忠、陈阳、丁玉林、何振声、吴淑荣、王岚,副译审叶鼎铨、杜寿全,全国消防绝热应用技术信息网秘书长、华东电力设计院教授高工蔡子明,全国石油化工绝热工程技术协作组主任、教授高工单永江,中国工程院院士、南京玻璃纤维研究设计院院长张耀明,副院长、总工、顾问、国家科技进步一等奖池窑拉丝项目第一获奖人姜肇中,江苏宜兴百泰绝热材料有限公司高工周立鸣,北京科技大学资源工程学院副院长、教授、博士倪文,中国建筑科学研究院建筑物理所研究员、国际建筑师协会建筑与能源工作组委员周景德,欧文思科宁公司亚太区高级技术专员孙克光,国家电力公司电力建设研究所教授高工吴川林,中国建筑科学院建筑物理所研究员、国家民用建筑节能设计标准主要制定人之一杨善勤,南京永明玻璃纤维有限公司总经理、南京康美达新型绝热材料制品厂厂长谢永明,中国船舶科学研究中心二〇工厂厂长、硕士、高工陈春滋,广州芳华新型建材公司董事长、总经理杨汤群,

已故江苏泰兴特种耐火纤维厂厂长周育林，中外合资南京艾新玻璃纤维制品公司总经理戴春勇，南京康保玻璃纤维制品厂厂长高礼树，原江苏南通节能工程公司董事长、总经理凌永嘉，中国塑协泡沫塑料(EPS)委员会副会长、吉林清华园工贸有限公司董事长侯树亭教授，中国石化北京设计院教授高工华泽鐸，香港国安国际公司董事长崔国安，以及慕名已久的上海交通大学教授、博导徐烈，机械设计总院教授黄奇明、吴家正、杨筱衡、张国忠、章日让、房志勇、汪琪美、林川、张大玉、欧阳文、李明礼、孙兆德、陈安民、蔡尔辅、郭光臣、曲填扬、马良等石油化工和建筑领域专家表示衷心感谢。没有他们的支持指导关心鼓励，没有他们创造性的劳动成果和研究著作，本书也无法顺利完成。



第一章 传热与绝热

第一节 传热理论	(1)
一、导热 傅立叶定律	(1)
二、对流换热	(4)
三、辐射换热	(9)
四、相变传热	(11)
五、传热过程	(13)
第二节 热力设备传热	(14)
一、主要热力设备的传热特点	(14)
二、热力设备启停时的传热特点和 不稳定导热	(15)
三、散热损失与保温	(16)
四、热扩散系数	(16)
第三节 传湿	(18)
一、传湿过程	(18)
二、透湿率和湿阻	(20)
三、湿交换系数 β	(27)
第四节 建筑和管道防潮	(29)
一、围护结构的防结露	(30)
二、采暖建筑的保温与防潮	(33)
三、冷库建筑的隔热与防潮	(36)
四、设备及管道的保冷与防潮	(42)

第二章 绝热材料性能及选择

第一节 绝热材料的绝热机理	(45)
一、绝热材料的结构与热流	(45)
二、绝热材料结构模型与传热 机理	(46)
第二节 影响导热系数的因素	(49)
一、温度及气孔率	(49)
二、含湿率	(49)
三、容重	(50)
四、松散材料的粒度和杂质	(50)
五、热流方向	(51)
第三节 容重和热容量	(52)
一、容重和孔隙率	(54)
二、容重和抗压强度	(54)

三、容重对导热系数的影响	(54)
四、热容量、导热系数和 比热容	(55)
第四节 吸水性、燃烧性	(56)
一、吸水性、吸湿性与孔隙率	(56)
二、透气率与容重	(56)
三、含湿率对绝热材料性能的 影响	(57)
四、线膨胀系数	(57)
五、燃烧性	(58)
第五节 气氛、气压	(59)
一、气氛对传热的影响	(59)
二、气体的对流	(60)
三、气体压力	(60)
四、不同气体与绝热性能	(60)
第六节 纤维质绝热材料与辐射 传热	(61)
一、热流在纤维质绝热材料中的 传导	(62)
二、热辐射在纤维质绝热材料中的 传递过程	(62)
三、矿物纤维绝热材料导热系数 经验公式	(63)
四、导热系数修正值	(64)
五、导热系数与拼缝、间隙和金属 插入件	(65)
第七节 绝热材料的一般性能要求	(66)
一、绝热材料的最高(低)使用 温度	(67)
二、导热系数与材料的吸水率、 吸湿率、含水率及单位体积 价格	(68)
三、绝热材料的容重	(68)
四、绝热材料的机械强度	(69)
五、材料的燃烧性能	(69)
六、材料的化学性能	(70)
七、设计使用时间	(70)

八、绝热材料对工程现场情况的适应性	(70)
九、安全性	(71)
十、施工性	(71)
十一、防潮层、防腐层、保护层材料的选择	(71)

第三章 纤维类绝热材料

第一节 岩棉、矿渣棉及其制品	(74)
一、岩棉、矿渣棉的物理化学性能	(74)
二、岩棉、矿渣棉绝热制品	(80)
第二节 玻璃棉制品	(80)
一、玻璃棉制品基本特性和主要用途	(80)
二、玻璃棉毡、棉板的性能与规格	(81)
三、玻璃棉的绝热性能	(83)
四、玻璃棉的吸声性能	(83)
第三节 矿物棉纤维的应用	(84)
一、建筑应用	(84)
二、管道和通风管道绝热	(87)
三、器具和设备绝热	(89)
四、运输工具的绝热和吸音	(90)
第四节 连续纤维绝热材料	(91)
一、膨松变形纱	(91)
二、玻璃纤维织物表面耐温涂层处理	(91)
三、高硅氧纤维石英纤维	(93)
四、玻璃纤维针刺毡	(94)
五、几类连续玻璃纤维绝热隔音制品	(95)
六、缝制品	(96)
七、新型耐高温纤维	(98)
第五节 耐火纤维及制品	(103)
一、耐火纤维分类	(104)
二、耐火纤维技术性能	(106)
三、耐火纤维制品	(108)
第六节 玄武岩纤维	(113)
一、玄武岩纤维的性能	(113)
二、普通玄武岩棉的性能与应用	(115)

三、超细玄武岩棉的性能与应用	(116)
第七节 绝热涂料	(117)
一、影响硅酸盐复合绝热涂料性能的因素	(118)
二、硅酸盐复合绝热涂料的结构导热系数	(119)

第四章 硬质绝热材料

第一节 硅酸钙绝热材料	(122)
一、硅酸钙绝热材料的组成	(122)
二、硅酸钙绝热制品生产机理及其发展	(123)
三、硅酸钙绝热制品的性能	(125)
四、硅酸钙绝热材料的相关标准	(127)
五、几种硅酸钙绝热制品	(129)
六、硅酸钙的高温性能	(131)
第二节 膨胀珍珠岩绝热制品	(132)
一、膨胀珍珠岩绝热制品的原料	(133)
二、膨胀珍珠岩的膨胀机理	(134)
三、膨胀珍珠岩性能	(135)
四、膨胀珍珠岩绝热制品的性能	(137)
五、特种膨胀珍珠岩绝热制品	(138)
六、膨胀珍珠岩砂浆	(140)
第三节 泡沫玻璃制品和空心玻璃珠	(148)
一、泡沫玻璃制品的物理化学性质	(148)
二、泡沫玻璃制品	(151)
第四节 膨胀蛭石及其制品	(152)
一、蛭石的物理化学性能和成分	(153)
二、膨胀蛭石的性能及技术指标	(154)
三、膨胀蛭石制品	(155)

第五章 有机高分子绝热材料

第一节 聚苯乙烯泡沫塑料	(163)
一、聚苯乙烯泡沫塑料理化性能	(163)

二、聚苯乙烯泡沫塑料的应用	… (164)
第二节 聚氨酯泡沫塑料	… (165)
第三节 聚氯乙烯泡沫塑料	… (169)
第四节 聚乙烯泡沫塑料	… (170)
第五节 酚醛泡沫塑料	… (172)
一、物理化学性能	… (172)
二、酚醛泡沫的主要用途	… (174)
第六节 海绵橡胶	… (176)
一、海绵橡胶的性能	… (177)
二、主要用途	… (178)
第七节 聚脲涂层	… (179)

第六章 金属反射型绝热材料

第一节 铝箔的绝热特性	… (182)
一、铝的特性	… (182)
二、铝箔的热物理性能	… (183)
三、铝箔的发射率	… (183)
第二节 影响铝箔绝热性能的因素	… (184)
一、铝箔的反射系数与热辐射波长的关系	… (184)
二、辐射体表面温度	… (185)
三、铝箔的纯度对 ρ 值的影响	… (185)
四、铝箔表面温度对 ρ 值的影响	… (185)
五、铝箔厚度与反射特性的关系	… (186)
六、铝箔表面涂层对发射率的影响	… (187)
第三节 铝箔的品种及规格	… (188)
一、铝箔原材料	… (188)
二、铝箔的品种及规格	… (189)
三、铝箔的技术要求	… (189)
四、铝箔表面质量要求	… (189)
五、铝箔的包装、运输和储存	… (189)
六、铝箔反射型绝热结构原理	… (189)
七、铝箔反射型绝热结构的形式及应用	… (192)
第四节 铝箔波形纸板	… (196)
一、波形纸板绝热材料	… (196)
二、加工及性能	… (197)
三、经济效益	… (199)

第五节 铝箔玻璃钢的绝热层外护材料	… (199)
一、铝箔玻璃钢外护材料性能	… (200)
二、铝箔玻璃纤维布	… (202)
三、玻璃纤维防腐保温胶带	… (203)
第六节 金属遮热板	… (204)
一、金属遮热板原理	… (204)
二、红外反射涂料的使用	… (205)
第七节 彩钢板	… (206)

第七章 新型绝热材料—— 纳米孔硅质绝热材料

第一节 纳米孔绝热材料的发展	… (208)
第二节 绝热机理及生产工艺	… (209)
一、纳米孔绝热材料的绝热机理	… (209)
二、纳米孔硅质绝热材料的生产工艺	… (211)
第三节 纳米孔硅质绝热材料的性能及产品	… (213)
一、纳米孔硅质绝热材料的主要性能	… (213)
二、纳米孔硅质绝热材料的主要产品及其应用	… (214)

第八章 工业绝热(保温、保冷)结构

第一节 绝热结构层次	… (217)
一、防腐层	… (217)
二、防水(潮)层	… (218)
三、面层(外护层)	… (219)
第二节 保温结构	… (224)
一、胶泥保温结构	… (224)
二、填充保温结构	… (225)
三、包扎式保温结构	… (225)
四、缠绕式保温结构	… (225)
五、预制式保温结构	… (225)
六、金属反射式保温结构	… (226)
七、可拆卸式保温结构	… (226)
第三节 几类管道的保温结构图例	… (227)
一、几类管道保温结构	… (227)
二、管道特殊部位的保温结构	… (228)

三、管道及设备固定件与 支承件	(228)
第四节 保冷结构与类型	(235)
一、普通包装低温绝热	(235)
二、高真空绝热	(236)
三、真空多孔绝热	(237)
四、多层绝热	(239)
五、多屏绝热	(241)
第五节 保冷结构图例	(242)
一、圆筒形设备保冷结构图例	(242)
二、管道保冷结构图例	(242)

第九章 绝热工程设计

第一节 绝热设计程序	(247)
第二节 管道绝热设计方法	(249)
一、管道布置	(249)
二、管道支承设计	(251)
三、寒冷地带管道设计需注意的 问题	(251)
第三节 热力设备和管道的绝热 计算	(253)
一、绝热计算的要求	(253)
二、绝热层厚度计算	(254)
三、热、冷损失量计算	(258)
四、绝热层外表面温度计算	(259)
五、双层绝热时内外层界面处 温度计算	(260)
六、能量价格、绝热结构单位造价 计算	(260)
七、保温计算的参数	(262)
八、保冷计算的参数	(264)
第四节 绝热材料的优选	(265)
一、绝热材料的选择计算	(265)
二、绝热材料的选择举例	(267)
三、经济厚度	(268)
四、散热损失和外表温度	(269)
第五节 对绝热材料极限价格和 热价的分析	(272)
一、对绝热材料极限价格的 分析	(272)
二、对现行热价的分析	(274)

第六节 绝热结构设计	(276)
一、绝热层设计要求	(276)
二、防潮层设计要求	(279)
三、保护层设计要求	(279)
四、结构部件的设计	(279)
第七节 铝箔绝热结构设计	(281)
一、铝箔结构设计的一般原则	(281)
二、绝热结构中铝箔的设置 位置	(281)
三、空气间层厚度和垂直间层 高度的确定	(285)
四、多孔绝热材料与铝箔平行板 串联	(286)
五、铝箔空气间层的骨架传热—— 冷(热)桥	(286)
六、空气间层的密封	(287)
第八节 高温绝热纤维材料壁衬结构 设计	(288)
一、高温绝热结构设计原则	(288)
二、高温绝热壁衬结构设计	(289)

第十章 绝热工程施工

第一节 绝热工程量计算	(306)
一、刷油、防腐工程量计算	(306)
二、绝热工程量计算	(309)
第二节 绝热材料	(313)
一、质量要求	(313)
二、质量检查	(314)
第三节 施工的准备和要求	(315)
一、一般规定	(315)
二、施工前的准备和要求	(315)
三、绝热工程施工工艺程序	(315)
四、绝热施工的一般规定	(316)
第四节 绝热结构的施工	(316)
一、施工程序及要求	(316)
二、充填结构	(322)
三、捆扎结构和拼砌结构	(322)
四、粘贴结构施工	(323)
五、浇注结构施工	(327)
六、喷涂结构施工	(327)
七、可拆卸式结构施工	(328)

八、保护层的施工	(329)
第五节 质量检验及验收	(331)
一、绝热层的质量检验	(331)
二、防潮层的质量检验	(336)
三、保护层的质量检验	(336)
四、检验表格	(338)
五、验收	(340)
第六节 施工安全技术及劳动 保护	(342)
一、绝热工程施工安全技术	(342)
二、防火措施	(346)
三、生产卫生及劳动保护	(347)
第七节 金属面夹芯板的安装及 验收	(348)
一、安装施工	(348)
二、施工安全及成品保护	(351)
三、工程质量标准及验收、抽样 方法	(351)
四、工程验收	(355)
第八节 聚苯乙烯(EPS)板墙体外保温 工程施工	(356)
一、材料及技术指标	(356)
二、施工	(357)
三、验收	(360)

第十一章 绝热对被绝热对象的影响

第一节 表面温度与散热量	(362)
第二节 绝热对热力设备安全可靠 运行的影响	(364)
一、绝热对汽轮机运行的影响	(364)
二、绝热对锅炉安全可靠运行的 影响	(368)
三、绝热对阀门和法兰可靠性的 影响	(370)
第三节 绝热对热力设备启动性能的 影响	(371)
一、绝热对汽轮机热启动性能的 影响	(371)
二、绝热对蒸汽管道机组启动 性能的影响	(372)
三、绝热对汽包升压速度的 影响	(375)

四、绝热不良机组经济性变化	(375)
第四节 绝热对管架结构的影响	(375)
一、对管架结构的影响	(375)
二、对管线布置的影响	(377)
第五节 绝热对管道热阻和油品 运动的影响	(379)
一、对油管传热的影响	(379)
二、绝热管道对环境的影响	(382)
三、绝热对热输管道的影响	(383)

第十二章 管道设备绝热工程设计

第一节 管道、油罐的安装	(387)
一、管道的分类与发展	(387)
二、管道的敷设方式	(389)
三、管线间距	(391)
四、管线连接方式及敷设方法	(392)
第二节 管道的热损计算	(393)
一、地上管道的热损计算	(393)
二、地下管道的热损计算	(396)
三、套管	(399)
四、管网的热损失	(400)
五、地下管周围土壤的温度场	(401)
第三节 管道的保温及防冻热力 计算	(401)
一、地上管道的保温及热力 计算	(402)
二、地下管道的保温及热力 计算	(403)
三、管道防冻绝热层厚度的 计算	(407)
四、保温、保冷材料用量表	(408)
五、油管绝热计算	(409)
六、土堤内热输管道的热力 计算	(411)
八、管线与土壤的相互热力 作用	(412)
第四节 绝热管道成型工艺	(417)
一、直埋管道	(417)
二、海底敷设管道	(418)
三、预制保温管道现场安装 补口	(418)
四、管道一次成型(一步法)保温	

预制工艺	(420)	厚度	(475)
五、“管中管”保温预制工艺	(422)	三、按经济厚度算法计算保冷层	
六、管道复合保温预制工艺	(423)	厚度	(475)
七、喷涂和浇注塑料	(426)	四、冷损失量计算	(477)
第五节 管道伴热	(428)	五、保冷层外表面温度计算	(478)
一、保温、伴热的选择	(428)	六、保冷层冷收缩量的计算	(478)
二、蒸汽伴热	(429)	第二节 几类低温绝热计算	(479)
三、电伴热	(430)	一、真空型多孔介质(粉末或纤维)	
第六节 预制保温管道直埋设计与施工		绝热的传热计算	(479)
实例	(433)	二、多层绝热的传热计算	(480)
一、某石化公司直埋管道设计 ..	(433)	三、多屏绝热的传热计算	(483)
二、某热水直埋管道	(436)	第三节 液化天然气的贮存	(485)
三、预制保温管道的施工	(438)	一、LNG 贮运设备中的绝热	
第七节 运输高压蒸汽管道保温工程设计		结构	(485)
实例	(438)	二、LNG 贮运设备中常用绝热	
一、绝热工程特点	(438)	材料	(486)
二、保温厚度计算方法的确定 ..	(438)	三、贮槽结构	(487)
三、保温结构的选择	(440)	四、液化天然气的运输技术	(489)
四、保温层厚度计算	(441)	第四节 制冷管道	(492)
第八节 油罐的绝热	(442)	一、制冷管道、设备的保温	
一、油罐的安装	(443)	计算	(492)
二、油罐保温结构	(444)	二、制冷管道、设备的绝热结构及	
三、油罐保温层的厚度计算	(445)	外护层	(493)
四、油罐保温层的施工	(446)	三、制冷管道、设备绝热保冷中的	
第九节 锅炉窑炉的绝热	(454)	冷桥处理	(493)
一、锅炉的热平衡	(454)	四、长输低温乙烯管道保冷设计	
二、窑炉和热工设备的热损失 ..	(454)	实例	(493)
第十节 热工设备绝热实例	(460)	第五节 低温罐体保冷	(499)
一、锅炉保温施工实例	(460)	一、低温罐结构	(499)
二、电厂锅炉岛保温设计特点 ..	(462)	二、5000 吨液氨球罐绝热工程设计	
三、某化肥厂合成氨装置		实例	(500)
绝热设计	(464)	三、30 万吨合成氨装置中的氨罐	
四、圆筒形加热炉的绝热设计 ..	(465)	保冷工程设计实例一	(503)
五、锅炉后水冷壁悬吊拉稀管保温		四、30 万吨合成氨装置中的氨罐	
设计	(469)	保冷工程设计实例二	(506)
第十三章 低温绝热及设计		附录 1 常用法定计量单位及其	
第一节 保冷计算	(472)	换算	(508)
一、按防凝露要求计算保冷层		附录 2 绝热材料及应用工程	
厚度	(472)	标准	(512)
二、按最大允许冷损失量计算保冷		附录 3 绝热材料质量检测机构	(514)
		参考文献	(515)

第一章 传热与绝热

第一节 传热理论

传热是生产与生活过程中的一种重要现象。物体之间存在温度差便会发生热量的传递。热量总是由高温物体传给低温物体。物体之间的温度差便是发生这种传热现象的动力，温差越大，传热的速率越快。物体之间的传热是一个复杂的过程，往往几种不同机理的换热过程同时发生。根据传热的机理不同，可以分为导热、对流换热和辐射换热三种基本形式，如图1-1所示。

在某些工业过程中希望增强传热。例如，锅炉中产生蒸汽、蒸汽冷凝、空气预热等；又有一些工业过程希望尽量减少传热，以减少不必要的能量损失。例如，蒸汽和热水输送管道、加热炉炉体等。因此，深入地研究传热过程对减少能量损失，提高能源利用率有重要意义。

一、导热 傅立叶定律

导热是当物体内部存在温度差或温度不同的两物体直接接触时，由于物体的质点相互碰撞或分子的热振动而发生的传热现象。一般情况下，物体内的温度是随位置和时间而变化的，即可表示为位置和时间的函数，称为温度场。

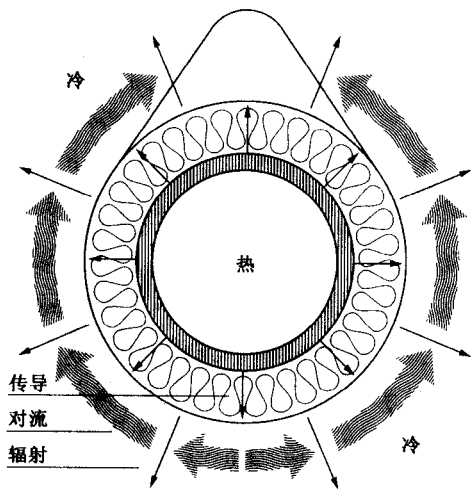


图 1-1 热量的几种传播方式

$$t = f(x, y, z, t)$$

如果物体内的温度分布不随时间变化，则称为稳定温度场，此时

$$t = f(x, y, z)$$

工程上的导热问题常常简化成稳定的一元导热，此时的温度场为 $t = f(x)$ 。通过导热而传递的热量可按傅立叶定律计算。

$$Q = -\lambda F(dt/dx) \quad (1-1)$$

如将式(1-1)前后都用面积 F 去除，得

$$q = \frac{Q}{F} = -\lambda \frac{\Delta t}{\Delta s} \quad (1-2)$$

这里 q 称为热流，它的意义是单位时间内通过单位面积所传递的热量。

如将式(1-2)推广到一般，当 $\Delta s \rightarrow 0$ 时取极限，则

$$q = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \lambda \frac{\Delta t}{\Delta s} = -\lambda \frac{dt}{ds} \quad (1-3)$$

式中 dt/ds 项称为温度梯度。这样，傅立叶定律可描述为：热流与温度梯度成正比。其中右边负号的意义是：热流的方向和温度梯度相反。广而言之，它对于不同几何形状的物体（如曲面）、液体和气体的纯热传导都适用。用于曲面时，傅立叶定律可写为

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \tag{1-4}$$

式(1-4)是傅立叶定律(热传导定律)的普遍表达形式。

关于导热系数 λ ，在式中如令 $-\frac{\partial t}{\partial n} = 1(\text{℃/m})$ ，则 $\lambda = q$ 。即当温度梯度为 $1(\text{℃/m})$ 时， λ 在数值上等于热流。导热系数 $\lambda(\text{W/m} \cdot \text{K})$ 是材料的一种热物理性质， λ 数值愈大，说明这个物体材料的导热性愈好。金属的导热系数大，它们具有良好的导热性能；绝热材料的导热系数较小，它们则具有良好的绝热保温性能。绝热材料受潮后，导热系数就有显著增大，因为水分的导热系数比空气要大得多，所以当气孔为水分占满时，材料的导热系数就增大。

导热系数 λ 通常由实验确定。导热系数也受温度的影响，随平均温度的升高而增大。在一定范围内，导热系数随温度变化多为直线方程，即

$$\lambda = a + b t_m \tag{1-5}$$

式中 λ ——材料在平均温度 t_m 时的导热系数；
 a ——常数， $t_m = 1\text{℃}$ 时的导热系数；
 b ——温度系数(常数)，表示各种材料随温度 t_m 变化而变化的部分数值；
 t_m —— $(t_1 - t_2)/2$ ，材料的平均温度(t_m 从 20℃ 起算)。

在工程上考虑温度对材料导热系数的影响，可用下式表示为

$$\lambda = \lambda_{15}(1 \pm b t) \tag{1-6}$$

式中 λ_{15} ——材料在 15℃ 时的导热系数；
 b ——由实验确定的温度系数；
 t ——材料的实际温度， ℃ 。

表 1-1 列出有关材料的导热系数 λ 值。

表 1-1 有关材料的导热系数 λ 值(常温下)

材料名称	$\lambda/(\text{W/m} \cdot \text{℃})$	材料名称	$\lambda/(\text{W/m} \cdot \text{℃})$
碳素钢	40	蛭石成型制品	0.07 ~ 0.11
泡沫水泥	0.065	矿渣棉	0.04
不含水干土	0.119	橡胶制品	0.14 ~ 0.17
混凝土	1.10	泡沫塑料	0.024 ~ 0.035
玻璃棉	0.03 ~ 0.04	原油	0.11 ~ 0.13

1. 单层平壁的稳定导热

单层平壁导热时可直接用下式计算。

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta/\lambda} \tag{1-7}$$

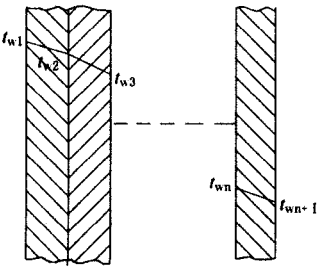


图 1-2 多层平壁的导热

式中 q ——单位面积热流量， W/m^2 ；
 t_{w1} ——平壁高温侧壁温， ℃ ；
 t_{w2} ——平壁低温侧壁温， ℃ ；
 δ ——壁厚， m 。

2. 多层平壁的稳定导热

多层平壁是由几层不同材质的平壁叠在一起组成的，如图 1-2 所示。加热炉炉墙是由耐火砖层、隔热砖层和普通砖