

工业设备与管道 的 保温



曾大斧 莫松涛等编著

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是作者根据自己多年从事保温设计、施工和科研的体会以及总结国内外保温工程的经验编著而成的。书中详细地介绍了保温的机理,保温设计的各种计算方法,保温材料的性能指标及测试方法,典型的保温结构及施工技术,国内外保温材料生产的动态,保温与节能的关系,同时还对工业保温的材料生产、设计理论和施工技术提出了一些新的见解及改进性意见。书中还列有不少保温计算表,以便查用。

本书可供电力、冶金、石油、化工、轻工、建材、交通等部门从事保温材料研制和生产,从事保温工程设计、施工、运行和检修的人员阅读参考。

工业设备与管道的保温

曾大斧 莫松涛等编著

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 12.25印张 268千字

1983年1月第一版 1983年1月北京第一次印刷

印数00001—12110册 定价1.00元

书号15143·5040

前 言

保温是一门综合性学科，涉及材料的生产，性能测试，结构的设计与施工等有关的理论和技术。工业设备与管道的保温是各个工业部门实现产品工艺流程和节约能源的必要手段。

本书总结了国内外工业保温的经验，全面阐述了工业保温的材料生产、设计理论与施工技术，提出了一些新的见解及改进性意见。其目的是为开发“第五能源”起些作用。

一、理论方面：对工业保温的机理、保温材料的技术性能和检验原理进行了比较全面的阐述。对公称厚度，最佳容重，弹性恢复系数，矿纤材料的导热系数、使用容重与生产容重的区别、使用温度与耐热性的关系等作了详细的介绍。

二、设计方面：对各种工业保温有关的计算方法作了比较详细的介绍，并列举了实例。为了简化实际工作中的计算，书中列有几种保温材料的保温厚度表和通用保温厚度表，可供保温工程设计时选用。

三、施工方面：作者根据二十多年从事保温设计与施工实践的经验体会，对各种保温结构、施工工艺的广泛调查研究，并参阅了国内外的有关技术资料，详细介绍了十一种典型的保温结构以及工艺质量要求（包括常规保温结构和防核腐蚀的金属反射式保温结构）。

四、材料生产方面：简略地介绍了国内外保温材料生产的发展和工艺动态。在广泛调查与取样校核的基础上，列举了工业保温常用材料的技术条件。从生产机理上对矿棉、微

孔硅酸钙和膨胀珍珠岩存在的问题提出改进的途径。

本书可供电力、冶金、石油、化工、轻工、建材、交通等部门从事保温材料研制和生产，以及从事保温工程设计、施工、运行和检修的人员参考。

本书经水利电力部电力建设研究所组织，由山西电力建设工程局曾大斧、华东电力设计院莫松涛、陕西电力建设工程公司吴文艺、电力建设研究所叶树华、北京电力建设工程公司王远贵等同志负责编写，曾大斧、莫松涛同志负责整理，曾大斧同志并负责统稿，最后由电力建设研究所副所长吴川林同志审定。

本书在编写过程中曾得到国内一些科研单位、建材与施工部门的支持并提供了有关的中外文技术资料，在此致以诚挚的感谢。

本书牵涉面较广，内容较多。限于作者的理论水平与实践经验，书中漏误之处在所难免，请读者批评指正。

编著者

一九八二年六月

主要符号表

A	辐射吸收率
a	导温系数 (米 ² /时)
C	热容量 (千卡/°C)
C_0	黑体的辐射常数 (千卡/米 ² ·时·K ⁴)
c_p	比热容 (千卡/公斤·°C); 干燥材料的比热容 (千卡/公斤·°C)
C_s	潮湿材料的比热容 (千卡/公斤·°C)
C_r	表面辐射系数 (千卡/米 ² ·时·K ⁴)
D	辐射穿透率
E	灰体辐射力 (千卡/米 ² ·时); 弹性模数 (公斤/厘米 ²)
E_0	黑体辐射力 (千卡/米 ² ·时·微米)
$E_{0\lambda}$	自身辐射力 (千卡/米 ² ·时)
$\bar{F}$	面积 (米 ²)
G	干燥材料的重量
i	热焓 (千卡/公斤)
K	传热系数 (千卡/米 ² ·时·°C)
L	长度; 烧失量 (%)
P	折旧率 (%)
q	热流密度 (千卡/米 ² ·时)
Q	传热量 (千卡)
R	热阻 (米 ² ·时·°C/千卡)
R_f	抗折强度 (公斤/厘米 ²)
R_g	高温加热冷却后抗压强度 (公斤/厘米 ²)
R_h	烘干抗压强度 (公斤/厘米 ²)
R_r	高温加热后抗压强度增减率 (%)

R_t	筒压强度 (公斤/厘米 ²)
S	投资费用 (元)
t	温度 (°C)
Δt	温度差 (°C)
t_m	定性温度 (°C)
t_w	表面温度 (°C); 保温层表面露点温度 (°C)
t_h	周围空气温度 (°C)
t_p	两表面平均温度 (°C)
T	绝对温度 (K)
T_0	偿还年限
V	体积 (米 ³)
W	流速; 风速 (米/秒); 管道断面抗弯矩 (厘米 ³)
W_d	材料体积吸湿率 (含水率) (%)
W_z	材料重量吸湿率 (含水率) (%)
W_{jz}	材料绝对重量吸湿率 (%)
W_{xz}	材料相对重量吸湿率 (%)
Z	散热时间 (时)
α	表面放热系数 (千卡/米 ² ·时·°C)
γ	比重 (真密度) (公斤/米 ³)
γ'	容重 (体积密度) (公斤/米 ³)
δ	厚度
ε	黑度
θ	斜率指数
λ	导热系数 (千卡/米·时·°C)
μ	流体粘度 (公斤·秒/米 ²)
ν	流体动粘度 (米 ² /秒)
π	气孔率
τ	时间 (时)

目 录

前 言

主要符号表

第一章 保温的作用	1
第一节 保温与保冷	1
第二节 保温在国民经济中的作用	1
第二章 保温机理	8
第一节 热的传递	8
一、传热(8) 二、温度场和温度梯度(9) 三、傅立叶定律(9) 四、对流传热(10) 五、传热量(11) 六、导热过程的起始条件和边界条件(12)	
第二节 传热原理	13
一、第一边界条件下的稳定传热原理(13) 二、第三边界条件下的稳定传热原理(24) 三、传热热阻的分析(28) 四、第三边界条件下的对流传热(29) 五、热辐射(38)	
第三节 保温热力计算	53
一、保温热力计算的意义与内容(53) 二、热损失的计算(70) 三、表面温度的计算(72) 四、保温厚度的计算(76) 五、保温对供热管道流量的影响(138) 六、保温对管道支吊架间距的影响(143) 七、应用斜率指数制订热损失标准与计算煤耗量(145) 八、有关保温设计的综合性概念(164) 九、室内保温厚度表(167)	
第三章 保温材料的主要技术指标	193
第一节 主要技术指标	194
一、导热系数和导温系数(194) 二、比热容和蓄热系数(205) 三、容重、气孔率和含水率(207) 四、机械强度、固形性和抗震性(218) 五、耐热性和使用温度(223)	

六、透气性、抗冻性和化学惰性(226)	七、烧失量(230)	
第二节 保温材料技术检验的取样	231	
第四章 保温材料及施工工艺	235	
第一节 保温材料的分类	235	
一、按容重分类(235)	二、按压缩性分类(235)	
三、按导热性分类(235)	四、按形态分类(236)	
第二节 保温材料的技术性能	237	
一、多孔材料制品的技术性能(237)	二、矿纤材料制品的技术性能(255)	
三、泡沫塑料、软木板、铝箔的技术性能(272)	四、松散保温材料的技术性能(279)	
五、灰浆及抹面材料(283)		
第三节 保温材料的保管	290	
一、包装运输注意事项(291)	二、现场保管注意事项(291)	
第四节 保温结构及施工工艺	292	
一、涂抹法保温(294)	二、绑扎法保温(297)	三、粘结法保温(302)
四、装配式保温(303)	五、填充法保温(305)	六、缠绕法保温(309)
七、管套式保温(310)	八、可卸式保温(311)	九、喷涂法保温(313)
十、叠堆法保温(317)	十一、金属反射式保温(320)	
第五节 保温层的固定构件	325	
一、大直径管道和设备保温的固定构件(326)	二、设备与管道采用矿纤材料保温的固定构件(326)	
三、垂直管道保温的固定构件(327)	四、振动部位保温的固定构件(331)	
五、预保温组合件的固定(331)		
第六节 保冷结构的技术要求	332	
一、保冷材料的技术要求(333)	二、保冷层施工(333)	
第七节 保温结构的保护层	335	
一、抹面层(336)	二、金属护壳(338)	三、包缠玻璃丝布(344)

第八节 膨胀伸缩缝及监视测点	345
一、伸缩缝的位置 (346) 二、焊缝监视及蠕变测点 (349)	
第五章 施工准备与竣工验收	350
第一节 施工准备	350
一、施工机械 (350) 二、材料准备 (352) 三、工序准备 (352) 四、劳动力准备 (353) 五、施工安全技术 (353)	
第二节 竣工验收	354
一、材料验收 (354) 二、工艺项目验收 (355) 三、保温表面温度测定方法 (357)	
第六章 保温的发展方向	359
第一节 目前国内外保温材料及其工艺动态	359
一、我国的保温材料及其工艺的发展 (359) 二、国外的保温材料及其工艺概况 (360) 三、当前保温存在的问题及其改进途径 (366)	
第二节 保温的发展方向	371
一、提高保温的节能效益 (371) 二、改进保温的生产与施工 (372) 三、发展新型的保温材料 (374)	
单位换算表	376
主要参考文献	378

第一章 保温的作用

第一节 保温与保冷

保温，是指为减少保温对象的内部热源向对象外部传递热量而采取的一种工艺措施。为了达到保温的目的，需要采取一些具有特殊性能的材料和结构，这些材料称为保温材料，这些结构称为保温结构。

保冷（又称隔热），是指为减少保冷对象的外部热源向对象内部传递热量而采取的一种工艺措施。为了达到保冷的目的，也同样需要采取一些具有特殊性能的材料和结构，这些材料称为保冷材料，这些结构称为保冷结构。

保温和保冷，又统称为绝热，保温材料和保冷材料，也统称为绝热材料。

按热量运动的形态来看，保温与保冷是有区别的，但人们往往又不严格区分，习惯上统称为保温。本书之所以定名为保温，就是沿用习惯的说法。因此，书中未特别指明时，保温便也包括保冷。

保温的用途很广，很多工业设备和管道都需要保温，许多建筑也需要保温。由于篇幅所限，本书只着重叙述工业设备和管道的保温。

第二节 保温在国民经济中的作用

在电力、冶金、石油、化工、轻工等部门的热力设备和

管道系统中大量地使用着保温材料，在交通运输、建筑、制冷和深冷工程中也日益广泛地采用各种保温设施。随着科学技术的日益发展，保温在生产建设和人民生活领域中的作用将越来越大，归纳起来，主要有如下几方面。

（一）减少热能损耗，节约燃料

电站是燃料（主要是煤或石油）的最大消费者之一，而且对燃料的需要量，总是随着新机组的投入运行而不断增长，所以电站采取各种节约燃料的措施，对整个国民经济具有重大的意义。在电站中采取良好的保温与未采取保温相比，前者可使热损失降低96~97%。热网管道保温不良可使实际的热损失由设计允许的全年供热量的5%，上升到10~12%，保温结构损坏部分的热损失甚至可达到25~30%，以致集中供热所带来的经济效益将会完全被热损失所浪费。通常，电站保温工程设计允许的热损失标准，相当于每度电多消耗4~5克标准煤，按容量为100万千瓦的电站计算，等于每天多消耗120吨标准煤。但实际上由于保温工程的缺陷，每度电的热损失是大大超过这一标准的。据有关研究资料介绍，每一平方米热表面保温后每年可节约标准煤2.5吨。

表1-1为裸管与保温管的散热量比较。表中内径50毫米的管道是采用玻璃棉管套保温，其他内径的管道均采用微孔硅酸钙管壳保温。由表可见，保温后的热损失减少了90%左右。

长距离输送石油的管道采用50毫米厚的珍珠岩制品保温时，其传热系数要比直埋土中的减小一半以上，每输送一吨原油可节约7~9立方米加温用的天然气消耗。

此外，热力系统如果保温不好，就需加强通风以排除余热，无形中又增加了设备费用和厂用电耗。

表 1-1 裸管与保温管散热量比较

介 质 温 度 (°C)	散 热 量 比 较	管 道 内 径 (毫米)								
		50			100			150		
		裸管 (千卡/ 米·时)	保 温 管		裸管 (千卡/ 米·时)	保 温 管		裸管 (千卡/ 米·时)	保 温 管	
			厚度 (毫米)	散热量 (千卡/ 米·时)		厚度 (毫米)	散热量 (千卡/ 米·时)		厚度 (毫米)	散热量 (千卡/ 米·时)
120		249	40	28	437	40	58	604	50	66
140		321	40	33	563	50	61	779	50	80
160		399	40	40	704	50	73	975	50	95

(二) 保证生产工艺流程的需要，提高设备能力

温度参数是许多工业部门实现生产工艺的一个很重要的条件。例如在合成纤维的生产中，聚合和纺丝工序操作温度的变化必须控制在± 1℃之间，否则就会给成品带来疵点；或者，管道内流体凝固，影响生产的正常进行。因此必须采取良好的保温措施，以保持其稳定的温度。

火力发电厂主蒸汽管道的温降如果超过 5℃，即不能正常运行。反之，如果主蒸汽管道及汽轮机本体采取良好的保温，则可缩短汽轮机再次启动的暖机时间，甚至可以不暖机而直接进行热态快速启动。

又如功率为50千瓦的箱式电阻炉，采用新型保温材料——高纯硅酸铝纤维毡(厚度50和60毫米)对原有炉墙进行改造，并减薄原有耐火砖衬的厚度，使不锈钢件在1080℃温度下热处理时，升温时间可由改炉前的350分钟缩短到76分钟

(缩短了78%), 升温耗电量可由原先的 226.8度减少到54度, 保温阶段耗电量可由原来的68.4度减少至49度。这样, 不仅取得了较好的节能效果, 而且提高了电炉的热处理生产能力。

冶金炉采用良好的绝热炉衬, 不但能降低燃料消耗, 而且可以增加熔炼产量。

总之, 采用保温措施, 尤其是使用良好的保温材料, 是实现产品工艺流程的必要手段, 并有助于提高设备的生产能力。

(三) 改善劳动条件, 实现安全生产

热力设备和管道保温后, 保温表面温度一般不应高于 50°C (当环境气温为 25°C 时)。各工业发达国家也有类似的规定, 例如: 法国规定电站锅炉炉墙表面温度与距离一米远的空气温度之差不应大于 30°C ; 日本规定电站管道保温表面温度与周围空气温度之差不大于 20°C ; 苏联规定热网管道当室内气温为 25°C 时, 介质温度在 500°C 以下的保温表面温度不得超过 45°C , 介质温度在 500°C 以上的保温表面温度不得超过 48°C 。只有在这些规定的表面温度下才能保证工人有良好的劳动条件, 否则, 热表面会烫伤操作人员; 工人长期在高温环境下工作, 也有害身体健康, 容易疲劳, 降低劳动生产率。

国外有关动力工程的文献指出, 由于改进保温结构和工艺质量, 使核电站反应堆外壳内的环境气温降低了 $5.5\sim 11^{\circ}\text{C}$ (由 $48.9\sim 54^{\circ}\text{C}$ 下降至 43°C), 这样就可使设备检修人员连续进行较长时间的工作; 缩短检修时间, 可节省巨额的费用; 改善了反应堆与主机相联部件的工作条件, 可避免阀膜与电缆经常发生故障。

良好的保温结构和施工工艺，不但可以实现安全生产，还可使环境整洁、车间美化、增进操作人员的舒适感。

（四）延长设备和管道的运行期限

热力设备缺少良好的保温，会使室内气温升高，传动机械的轴承和马达发热，缩短机械设备的使用寿命，甚至造成设备事故。例如，由于汽轮机高压段保温不良，升速时使轴承振动加剧，以致机组达不到额定转速而被迫停止启动；由于保温不良，会使汽缸与转子的平均温差增大，转子的热膨胀大于缸体，造成通汽部分的间隙缩小，威胁设备的安全运行。电站蒸汽管道进行良好的保温后，可以延长管道金属蠕变的时限，避免阀门和法兰由于多次启动，热胀冷缩不匀而引起的泄漏。一些排烟设备也经常由于保温不良，造成烟气结露，使金属产生溃疡性腐蚀。

（五）保持低温，减少冷量损失

在国民经济领域中，为了各种生产目的需采用低温技术。如利用专门装置和专门物质，即所谓冷却剂（氨、二氧化碳、氟利昂等）来冻结或冷却各种产品和材料。在贮存冷却剂的设备和输送管道上进行保冷后，就可以减少冷量损失，保证制冷生产工艺过程的进行。

有些化工和医药生产过程所用的工业水要求严格保持某一较低的温度，但在长距离输送过程中由于土壤传热或日照的影响，也必须采用保冷材料来隔热。此外，低沸点液体和氢、氧、氮等液态气体的贮存容器更必须采用良好的保冷结构，这也是现代深冷技术所研究的课题。

（六）预防水管冻结

在冬季，尤其是高寒地区，只有覆盖保温层的水管才允许在计算的有限时间内停止供水。保温结构既阻止外界低温

对管道内介质的影响，也延滞了管道内水的热量过快地散失。通过室内的水管道也应进行保温，以防管道表面结露而对金属产生腐蚀。

此外，输送原油的管道因原油含蜡和低温下粘滞阻力增大而难于输送，也必须加以保温，保证冬季油路的畅通。在高寒地区还采用聚氨脂泡沫塑料硬质制品对油罐的地坪进行保温，以防止因冻土鼓胀，使油罐和接管开裂而造成漏油的事故。

（七）吸声和隔振

保温材料同时也是良好的吸声和隔振材料。由于材料具有较高的孔隙率，当声波传入材料内部时，气孔内激发起无数空气分子的振动而产生的粘滞阻力和摩擦阻力，使声波的能量大部分转变为热能，这就是吸声的原理。各种转动机械及设备、管道的进气、排气所产生的噪声会妨害工人的操作和身体健康。所以在转动机械外壳的内表面敷设保温材料制成的吸声内衬，在管道的排气端装设消音器，消音器内敷设矿纤材料制作的吸音片，可消除强烈的噪声。

至于各种强噪音车间的控制室，以及电台播音室、影院、剧场、大会堂等建筑物更需采用各种有穿孔板护面的矿物纤维吸声墙板和吸声吊顶，以消除紊响，降低噪音或改善音质。

采用保温与吸音双功能的复合制品对整个工厂的噪音进行处理，可以防止噪音传播到附近的住宅区，而仅增加10~20%的隔音措施费用。例如核电站反应堆外壳内采用复合保温结构，即在两层保温材料之间加一层薄铅皮组成的复合制品，便可使风机和风道的噪音减少到85~90分贝。有的国家安全保健条例规定：在高噪音区域每天仅允许工作二小时，

而低噪音区域可允许工作八小时。

一些精密仪表、精密加工设备或自动控制设施往往对振动的反应比较敏感，在振动或固体声干扰的环境中，会降低其使用精度和寿命。采用具有良好弹性和阻尼的矿物纤维、泡沫塑料或软木等设计有效的减振基础或垫层，可达到隔振的目的。

（八）加快建筑工程进度，降低建筑成本

在工业厂房和民用建筑上越来越多地在墙体内采用保温材料，出现所谓轻体建筑物。它具有工程进度快、建筑成本低、材料消耗少、结构重量轻、劳动量小等优点。例如采用矿渣棉制品作为墙体衬里，可使每平方米墙体重量由原来一砖半墙的670公斤降到100公斤以下。一栋五千平方米的住宅可由原来的总建筑重量六千吨降到二千五百吨左右。轻型住宅采用玻璃棉作保温层后，工程造价比全砖结构降低45%，用工量减少25%，每平方米墙体自重由960公斤降到330公斤（墙体厚由490毫米减到170毫米），同时住宅面积利用系数提高5~13%，并可节煤15~25%。

轻体建筑物的节能效果是很显著的。一般无保温层的住宅冬季取暖的热损失达到73%。如果墙体上采用50毫米厚的矿物纤维板保温后可减少热损失40~50%；如果采用100毫米厚的保温层，则热损失可减少70%。此外，夏天的空调也可实现节电30%左右。因此，对建筑物进行保温所增加的费用可以很快从采暖费和空调费的节约中回收。

综上所述，保温在国民经济建设、生产及人民生活各个领域里的功用是非常重要和广泛的，尤其是降低热量（冷量）的损失和节省燃料方面具有“第五能源”的意义。保温的经济价值是可与技术价值媲美的。

第二章 保 温 机 理

第一节 热 的 传 递

一、传热

热力设备和管道的保温是传热学中的一个课题。传热在实用上可归纳为两种要求：一种是要求传热能力要强，例如加热与换热设备；另一种是要求传热能力要弱，以达到减少热损失的目的。后者就是本书要叙述的主要内容。

按照热力学定律，在任何传热的系统中，热量总是自动地从高温物体传向低温物体，温度高的物体放出的热量等于温度低的物体吸收的热量。

热的传递可分为三种基本方式：热传导、热对流和热辐射。

热传导是指直接接触的物体热量交换的现象。在固体和液体的热交换中，热量的转移主要依靠弹性波的作用；在固体金属中，则主要依靠自由电子的运动；在气体中，则主要依靠原子或分子的运动。总之，热传导是物体中微观粒子的热运动而传递热量的过程。故这种传热的方式又可称为“导热”。

热对流是指流体本身各部分发生相对位移而引起的热量交换，或流体从空间某一区域移动到另一不同温度区域而作的热量交换。热对流只能在液体中和气体中出现，其中还伴有热传导的方式。

热辐射是一种由电磁波来传递热量的现象，它与热传导