

保温保冷材料 及其应用

李一博 著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书阐述保温保冷材料的性能和应用。系统介绍了保温保冷材料的结构特点、重要使用性质和绝热机理;按结构分类分别讨论了散状保温保冷材料、泡沫材料和纤维材料的制法、性能及适用范围;从经济合理的观点出发介绍了保温保冷设计的原理、计算方法和常见的保温保冷工程的施工方法。书中还列举了一些算图供简便计算时参考。

本书可供冶金、电力、化工、轻工、建材、机械、交通和能源等部门从事工业窑炉、反应器及管道设备的保温保冷设计及从事保温保冷材料研制的科技工作者和大专院校有关专业师生参考。

封面设计 卜允台

保温保冷材料及其应用

李楠 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 松江科技印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.75 字数 168,000

1985年3月第1版 1985年3月第1次印刷

印数 1—8,700

统一书号: 15119·2397 定价: 1.60 元

前 言

能量是工农业生产的动力。党的十二大确定了我国到本世纪末实现工农业年总产值翻两番的宏伟目标,但能源产值只能翻一番,我们面临着巨大的节能任务。工业炉和各种高温反应器是大量消耗能量的设备。随着工业的发展,低温液体的贮存和输送也越来越重要,因此保温和保冷对于节约能源具有重要意义。

本书主要阐述保温保冷材料的性能、制造和使用,供冶金、机械、电力、化工、建材、轻工、交通等部门从事保温保冷工程设计、施工、管理、检修以及从事保温保冷材料研制和生产的科技人员参考。全书共分三部份。第一章主要阐述保温保冷材料的分类、结构、性质及影响因素,这是了解保温保冷材料的基础。从第二章到第四章,按结构类型分类,分别介绍了主要保温保冷材料的性能及制法。第五章阐述保温保冷设计计算和施工方法,每一种计算方法都附有例题,并选择介绍了一些简易算法和算图供读者参考和选用。在本章中,我们还特别注意从经济观点来选用和设计保温保冷材料。

保温保冷材料及其应用是一门综合学科,它既涉及到材料科学又涉及到热工工程;材料本身又既包括无机材料也包括有机材料,作者不可能在有限的篇幅中都作全面、深入的阐述,仅能进行重点介绍。由于作者的水平有限,书中漏误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

本书编写过程中曾得到我院化工系张碧芳、程玉保、葛

山,北京新型建筑材料试验厂庄维伟、山东淄博硅酸盐研究所钱敬达、刘照临等同志的帮助。此外,本书第五章曾在冶金部委托我院举办的工程技术人员学习班中讲授过,承其中一些同志提出了修改意见,作者在此一并致以衷心感谢。

李 楠

于武汉钢铁学院 1983. 7. 1

目 录

第一章 保温保冷材料的作用和基本性质	1
§ 1-1 节能与保温	1
§ 1-2 保温保冷材料的分类和性质	5
(一) 分类	5
(二) 保温保冷材料的比重	6
(三) 通过保温保冷材料的传热过程和保温保冷材料的热学 性质	10
(四) 保温保冷材料的吸湿性	18
(五) 保温保冷材料的机械性能	19
第二章 散状保温保冷材料及其制品	21
§ 2-1 硅藻土	21
§ 2-2 蛭石保温保冷材料	27
§ 2-3 膨胀珍珠岩及其他发泡材料	30
§ 2-4 发泡粘土及页岩	33
§ 2-5 人造颗粒保温保冷材料	40
§ 2-6 空心球保温保冷材料	42
§ 2-7 轻骨料混凝土	51
(一) 轻骨料混凝土的分类	51
(二) 轻骨料混凝土的性质及影响因素	52
(三) 轻骨料混凝土的结合剂	55
第三章 泡沫保温保冷材料	62
§ 3-1 轻质耐火材料	62
(一) 轻质硅酸铝耐火材料	63

(二)轻质硅质耐火材料	73
(三)轻质锆质耐火材料	74
(四)其他轻质耐火材料	77
§ 3-2 泡沫玻璃	78
§ 3-3 硅酸钙保温材料	80
(一)硅酸钙保温材料的制法	81
(二)硅酸钙保温材料的性质	82
§ 3-4 碱性碳酸镁保温材料	84
§ 3-5 有机泡沫保温保冷材料	85
(一)有机保温保冷材料的耐燃性	85
(二)泡沫塑料的制造	86
(三)聚氨基甲酸酯泡沫塑料	89
(四)聚苯乙烯泡沫塑料	94
(五)聚氯乙烯泡沫塑料	98
(六)泡沫酚醛塑料	99
(七)脲醛树脂泡沫塑料	103
(八)碳化软木材料	105
(九)硬质泡沫橡胶	106
第四章 纤维保温保冷材料	109
§ 4-1 石棉	109
§ 4-2 岩棉及矿渣棉	114
§ 4-3 玻璃纤维保温保冷材料	118
(一)玻璃棉的制法	118
(二)玻璃纤维的性质	119
(三)玻璃纤维的应用	123
§ 4-4 硅酸铝陶瓷纤维及制品	123
(一)硅酸铝陶瓷纤维的制造	124
(二)硅酸铝陶瓷纤维制品	127

(三)硅酸铝陶瓷纤维及制品的特性	129
(四)硅酸铝陶瓷纤维及其制品的使用	147
§ 4-5 高温陶瓷纤维	149
(一)多晶氧化铝纤维	149
(二)多晶莫来石纤维	153
(三)稳定氧化锆纤维	155
第五章 保温保冷设计与施工	158
§ 5-1 连续生产的工业炉及管道的保温设计	159
(一)平板导热及炉墙保温计算	159
(二)管道保温计算	167
(三)并管保温	183
§ 5-2 保温层的经济厚度	187
(一)保温效率	187
(二)保温层的经济厚度	187
(三)关于保温材料选择经济性的讨论	194
§ 5-3 间歇式生产热工设备的保温计算与设计	201
(一)间歇式工业炉保温计算基础-不稳定导热	201
(二)间歇式生产炉保温设计实例	203
(三)间歇式工业炉的蓄热损失	209
(四)间歇式工业炉的经济炉墙厚度	214
§ 5-4 保冷设计计算	215
§ 5-5 保温保冷材料的施工	218
(一)层铺法	218
(二)叠砌法	220
(三)浇注法	221
(四)贴壁法	222
(五)喷射施工	223
(六)吊挂法	224
(七)管道的保温施工	225

(八)保冷材料的施工	226
附录一 单位换算表	233
附录二 裸管的散热损失	234
附录三 炉壁热传导损失(1)	235
附录四 炉壁热传导损失(2)	236
附录五 蒸汽温度下降	237

第一章

保温保冷材料的作用和基本性质

§ 1-1 节能与保温

随着人类生产的发展和生活水平的提高，消耗的能量日益增加，能源枯竭虽不是迫在眉睫的问题，却已引起人们的严重关切。解决能源问题无非是开源和节流。开源即开发新的能源，如太阳能、地热、潮汐、风力等等；节流就是要减少能量损失，杜绝浪费。

工业炉和各种高温反应器是大量消耗能源的设备，通常热效率很低。图 1-1 中列出各种常见工业炉的热效率^[1]，其最高热效率仅为 50~60%，可见大量的能量被浪费掉了。为

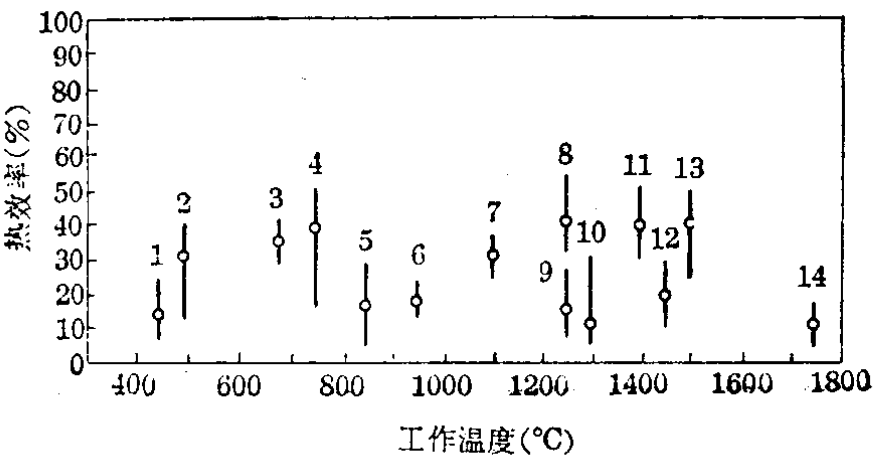


图 1-1 各种工业炉的工作温度和热效率的关系

- —表示平均值 1. 铅熔炼炉；2. 锌熔炼炉；3. 带式退火炉；4. 铝熔炼炉；5. 间歇台车式退火炉；6. 厚板热处理炉；7. 不锈钢板连续热处理炉；8. 连续钢材加热炉；9. 锻造炉；10. 陶瓷烧成隧道窑；11. 粘土砖烧成隧道窑；12. 玻璃熔窑；13. 水泥窑；14. 碱性耐火材料烧成窑

了弄清工业炉热流的分布情况，常常可利用热平衡表或者热平衡图，表 1-1 为某隧道窑的热平衡表^[2]。由表可见，此窑的热效率接近 50%，而在热损失中，通过窑墙、顶和窑车底部的散热占全部热量支出的一半以上。对于这类窑炉，加强保温具有重要意义。由于保温材料的比重小，热容量较低，所以，合理选用保温材料还可以减轻工业炉的重量，降低蓄热损失。图 1-2 中示出四种不同结构的炉墙的散热和蓄热损失。由图可见，第 III 种结构由于大量采用了保温材料，散热和蓄热损失都较小。

表 1-1 隧道窑的热平衡

耐火砖烧成热效率	49.4%
辐射传热等散热损失	52.8%
窑车带走的热量	2.1%
管道热损失	3.5%
坯体水份带走热量	3.9%
烧成品带走的热损失	4.1%
冷却用空气带走热损失(干燥用)	6.3%
冷却用空气带走热损失(未回收)	12.8%
排气带走的热损失	14.5%
总 计	100%

高温流体的输送在工业和民用方面都很重要。管道保温不仅可以减少散热损失，而且还可以保持流体的温度和压力。表 1-2 中列出了输送蒸气的裸管和用玻璃棉保温筒及硅酸钙保温筒保温时管道的散热损失^[3]。由表可见，保温以后散热损失几乎只有裸管的 1/10。

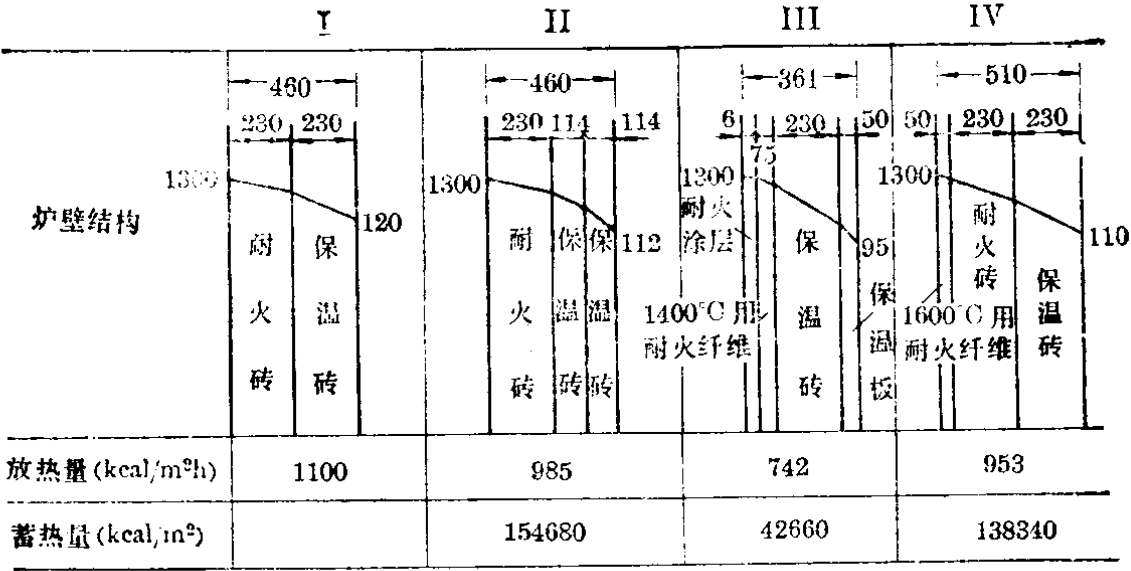


图 1-2 四种不同炉墙结构的散热量和蓄热量

表 1-2 蒸汽裸管及保温管的散热损失 kcal/mh

温 度 °C		120	130	140	150	160
50(A)* 管	裸管	249	285	321	359	399
	玻璃棉保温筒(40 mm 厚)	28	30	33	36	40
125(A) 管	裸管	520	598	672	734	840
	硅酸钙保温筒(50 mm 厚)	58	65	71	78	84

* 日本管径表示法。

英国有关单位对在英国许多重要工业部门广泛使用的保温砖、轻质浇灌料以及陶瓷纤维等高温保温材料的节能效果进行了研究,结果如表 1-3 所列^[4]。由表可见,保温的节能效果是十分显著的。

除了工业部门以外,为了减少空调的能耗,人们对住宅、房屋的保温愈来愈重视,特别是北欧和北美寒冷地域更是如此。表 1-4 中列出某些国家从 50 年代初到 70 年代末住宅使用保温材料厚度的变化情况,可见在这二十多年的时间内,国

• • •

表 1-3 高温保温材料的节能效果

工业部门	能 量 消 耗		年潜在节能量 10 ⁶ GJ	采用高温保温材料节能量 10 ⁶ GJ
	年份	10 ⁶ GJ		
钢铁	1978	487.9	2.45	2.45
铝	1978	100	1.05	0.525
铜及铜合金	1980	20	0.5	0.25
铅、锌	1978	12	0.6	0.3
水泥	1976	116	2.9	2.46
建筑砖	1978	28	1.75	1.75
耐火砖	1976	16		
玻璃	1975	45	4.5	2.2
瓷器	1978	17.31	0.65	0.55
化学	1978	461.5	0.5~0.75	0.5~0.75

表 1-4 国外住宅用保温材料厚度的变化(mm)^[5]

年	日本实际厚度 (玻璃棉)	法国实际厚度	丹麦规定厚度		瑞典(南部)规定厚度			美国实际厚度		
			天花板	外墙	天花板	外墙	底	天花板	外墙	底
1950								28	无	无
1960		25			100	80	100			
1970		45								
1972			80	70	6					
1974	34	60	115	75	7(实际)					
1975	43	67						150	90	90
1976	45	73								
1977		78(预测)	150	12	220	150	150	(300)*	(150)*	(150)*

* 括号表示部分采用。

外房屋建筑中使用的保温材料大大增加, 这样不仅可减少空调能源消耗, 而且可以大大减轻建筑物的重量。

除了保温以外, 随着工业的发展, 低温技术也显得更加重要。许多气体需低温液化以便贮存和运输, 如化学工业的重要原料乙烯(-104°C), 作为工业和民用燃料的液化石油气(-162°C), 火箭以及喷气机用的液态氢燃料等等; 此外, 为制造氧而液化空气等过程也都需要低温。因此保冷技术已受到了人们的重视。

从原理上看, 保温和保冷都是设法减缓热量的传递, 即增加热阻, 它们可统称为绝热。从材料方面看, 包含大量空气的、导热系数小的材料, 既可以作为保温材料, 又可以作为保冷材料, 因此, 保温与保冷实质上是相同的。

一般来说, 采用节能措施比开发新能源容易, 而保温和保冷又是节能技术中容易实现而且应用很广的一种技术。保温保冷技术主要包括选择绝热材料 and 设计施工两个方面。近年来各种新型保温保冷材料不断涌现, 一方面, 各种高纯、耐高温的陶瓷纤维的研制成功和使用, 使各种工业炉的热损失大幅度下降; 另一方面, 各种超轻质高强度泡沫塑料的出现也使得保冷效率大大提高; 此外, 在保温保冷设计和施工中, 更加注意了经济效果。

§ 1-2 保温保冷材料的分类和性质

(一) 分类

保温保冷材料是由各种不同材质所构成的质轻、导热系数小的材料, 含有大量气体。它们可以根据材质、形态和结构来分类。

按材质, 保温保冷材料可分为无机保温保冷材料、有机保

温保冷材料和金属保温保冷材料三大类。由于材质不同,它们的安全使用温度也不同,因此又可以按使用温度分为高温保温材料、中温保温材料和低温保冷材料。通常,把可在 1000°C 以上温度使用的材料称为高温材料。实际上,许多材料既可以在高温下使用也可以在低温下使用,如泡沫玻璃,它可以在 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的温度下作为保温材料;又可以作为超低温保冷材料。

按形态,保温保冷材料可分为纤维状、多孔状、粉末状和层状等四种,它们以及它们的成品的基本分类情况如表 1-5 所列^[6]。

保温保冷材料的结构对其性能有很大影响。按组织结构即按气孔在材料中的分布形态,保温保冷材料可分为如下三种基本类型。

(1) 固体基质连结在一起形成一连续相,而气孔不连续,为封闭气孔或称为孤立气孔,如图 1-3(a)所示。用发泡方法可以得到这种结构。

(2) 固体基质不连续而气孔为连续相,如图 1-3(b)所示。填充保温保冷材料属于这种类型。

(3) 固体基质和气孔都为连续相,如图 1-3 中的 (c) 和 (d) 所示。具有这种结构的有纤维保温保冷材料和具有大量连通风体的发泡材料,如轻质耐火材料和泡沫海绵等。

还有一些其他的分类方法,如按制造方法、按气孔的形成方法分类等等。

保温保冷材料的性质主要有比重、导热系数、热容、吸湿性和机械强度等。下面分别讨论之。

(二)保温保冷材料的比重

大部份保温保冷材料都含有大量的空隙,因此有几种意

表 1-5 保温保冷材料的分类

分 类			材 料 及 制 品 形 状	
纤维状	无机	天 然	石棉	板、筒、带、绳
		人 造	陶瓷纤维	毡、筒、带、板
		人 造	玻璃纤维	毡、筒、带、板
		人 造	矿渣棉	毡、筒、带、板
	有机	天 然	软木塞	板、粒
		天然或 人 造	牛毛及合成纤维	毡、毡
		天 然	硅藻土 珍珠岩	粉粒状、块
			蛭石	粉粒、块
			碱式碳酸镁	板、筒
多孔状	无机	人 造	硅酸钙	板、筒
			轻质耐火材料	块
			轻质不定形耐火材料	块, 粉粒
			泡沫玻璃	块、板、筒
	有机	人 造	泡沫酚醛树脂	板、块、筒
			泡沫聚氨酯	板、块、筒
			泡沫聚苯乙烯	板、块、筒
			泡沫聚氯乙烯	板、块、筒
层 状	金属	人 造	铝板或其他金属箔	由铝或其他金属薄板制成的夹层保温层

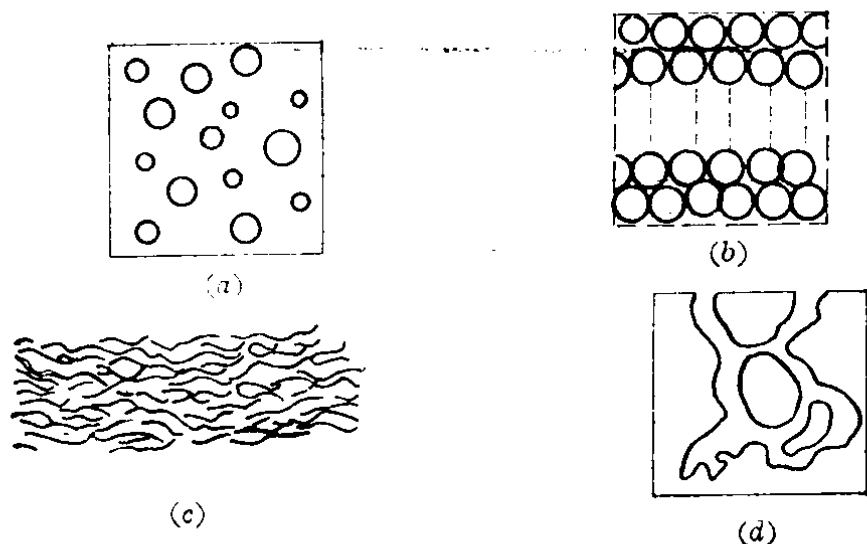


图 1-3 保温保冷材料的结构类型

义不同的表示比重的方法,本书中采用真比重、容积比重(或简称为容重、比重)和假比重三种名称。由于真比重和假比重在保温保冷材料中并不常用,所以本书后面各章中凡提到比重或容重的地方,除特别说明者外,都是指的容积比重。

1. 容积比重 S_b 容积比重是指每单位外形体积(包括材料本身和全部气孔)的保温保冷材料的重量:

$$S_b = \frac{W}{V} \quad (1-1)$$

式中, W 为重量; V 为外形体积。

2. 假比重 S_a 假比重是指排除开口气孔以后,每单位体积(包括封闭气孔)的保温保冷材料的重量:

$$S_a = \frac{W}{V - V_1} \quad (1-2)$$

式中, V_1 为开口气孔的体积。

3. 真比重 S_t 真比重是指排除所有气孔后,每单位体积保温保冷材料的重量,真比重即为材料本身的比重:

$$S_t = \frac{W}{V - (V_1 + V_2)} \quad (1-3)$$

式中, V_2 为封闭气孔的体积。

除了比重外, 还有一些表示材料或者气孔所占体积百分数的指标, 如气孔率和填充率。

4. 气孔率 ε 气孔率是指在整个外形体积中气孔所占的体积百分数:

$$\varepsilon = \frac{V_1 + V_2}{V} \quad (1-4)$$

由于气孔又分为封闭气孔和开口气孔两类, 所以它又可以分别表示之。

5. 开口气孔率 ε_a 开口气孔率是指开口气孔的体积在整个外观体积中所占的百分数:

$$\varepsilon_a = \frac{V_1}{V} \quad (1-5)$$

6. 闭口气孔率 ε_c 闭口气孔率是指闭口气孔的体积在整个外观体积中所占的百分数:

$$\varepsilon_c = \frac{V_2}{V} \quad (1-6)$$

通常, 闭口气孔愈多, 材料的导热系数愈小, 吸湿愈少。所以, 闭口气孔率愈高愈好。

由上式可得

$$\varepsilon = 100 \left(1 - \frac{S_b}{S_t} \right) \quad (1-7)$$

$$\varepsilon_a = 100 \left(- \frac{S_b}{S_a} \right) \quad (1-8)$$

$$\varepsilon_c = 100 S_b \left(\frac{1}{S_a} - \frac{1}{S_t} \right) \quad (1-9)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_c \quad (1-10)$$

有时保温保冷材料是作为填充材料使用的, 因此需要一些表示其散装特性的参数。它们主要有堆集容重和充填率。

• • •