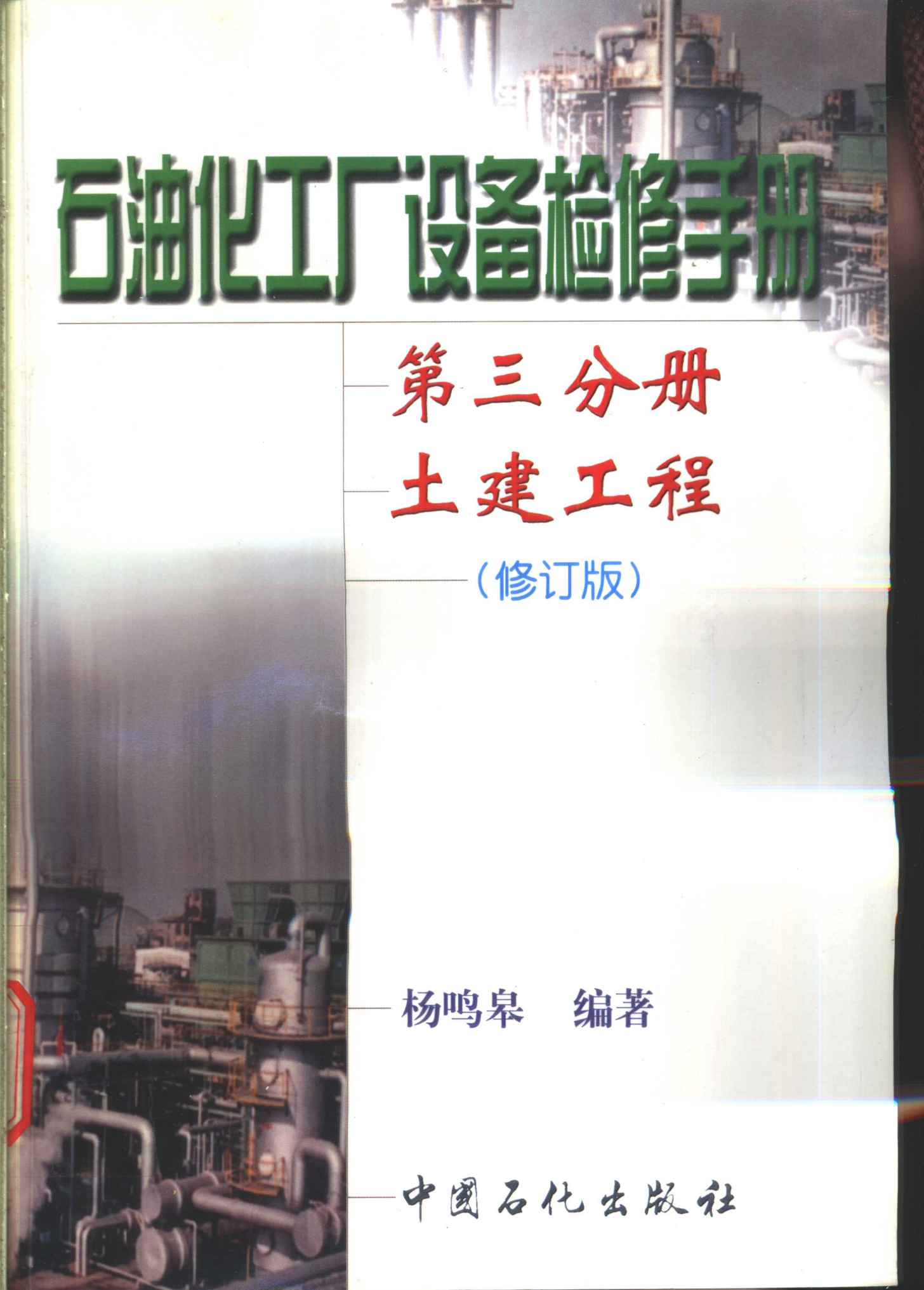




石油化工厂设备检修手册

第三分册

土建工程

(修订版)

杨鸣皋 编著

中国石化出版社

石油化工厂设备检修手册

第三分册

土建工程（修订版）

杨鸣皋 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《石油化工厂设备检修手册》第三分册。书中介绍了石油化工厂常见的土建工程施工技术,如管道和设备的隔热施工、耐热耐磨衬里施工、反应器衬里施工、工业炉炉墙施工以及特殊土建工程施工方法等内容。由于本书收集了大量土建工程所用资料数据,并总结出一些较好的施工经验与方法,因而实用性较强、针对性好,适用于石油化工厂设备安装、检修的工程技术人员和技术工人阅读,也可供设备设计、管理技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工厂设备检修手册. 第3分册,
土建工程/杨鸣皋编著. -2版(修订版).

—北京:中国石化出版社,2001

ISBN 7-80164-129-9

I. 石… II. 杨… III. ①石油化工厂-化工设备-
检修-手册②石油化工厂-土木工程-工程施工-手册
IV. TE65-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 059962 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)84289972

<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

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 320 千字 印 1—3000

2001 年 10 月第 2 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

定价:23.00 元

修 订 说 明

本书是《石油化工厂设备检修手册》第三分册的修订版，主要介绍石油化工厂常见的土建工程施工技术，内容包括管道和设备的隔热施工、耐热耐磨衬里施工、加氢反应器衬里施工、工业炉炉墙施工及特殊土建工程施工。

随着科学技术的发展，石油化工厂对土建工程的要求越来越高，工程材料已有了很大的改进，工程施工的条件和技术要求有了新的变化。为了适应生产的发展，让工程技术人员了解最新的科技发展水平，在本修订版中，作者对原书的内容进行了大量的修改和整理。修订主要集中在第二章和第四章，其中在第二章除了介绍单层、双层龟甲网衬里的内容外，增加了单层、双层无龟甲网衬里的内容；在第四章中，改变了原来按炉型介绍炉墙施工内容的方式，修订后将根据炉墙的结构系统地介绍炉墙施工的方法。除上述内容外，作者还对个别章节进行了若干调整和补充。

2001 年 4 月

出 版 说 明

《石油化工厂设备检修手册》是在原《炼油厂设备检修手册》的基础上补充、修订、编写而成的。原手册共有 5 个分册，于 1980 年前后陆续出版。10 年来，这套丛书为我国炼油工业的发展作出了应有的贡献，得到了现场工程技术人员的好评。

随着科学技术的飞速发展，我国的炼油工业技术水平不断提高，管理水平日趋完善；石油化学工业也犹如初升的太阳，在国家经济建设中占有越来越重要的地位。老装置的技术改造，新装置的建设和投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对设备检修技术及管理水平提出了新的要求。因此，迫切需要重新组织编写一套设备检修丛书，这就是《石油化工厂设备检修手册》诞生的由来。

本手册以国家、部委颁发的最新规范标准为准绳，密切联系生产实际，力求解决检修现场带有普遍性的问题，跟上检修技术不断发展的步伐。这次修订，增加了土建工程、防腐工程、吊装工程三个分册；并把转动设备和静止设备按类别划分为数个分册。同时，对原有各分册的内容也进行了充实，在原来以炼油厂设备检修为主线的基础上，注意增加了石油化工厂设备检修方面的内容。修订后的手册在具体内容上，更加深入地接触了检修现场的实际情况。

修订后的《石油化工厂设备检修手册》的内容包括：基础数据、焊接、土建工程、防腐工程、泵、压缩机、容器、加热炉、换热器、工艺管线、吊装工程十一个分册，将陆续组织出版。在组织编写过程中，得到了中国石油化工总公司、中国石油天然气总公司、石油大学等有关方面的大力支持，使手册得以顺利出版。本分册由杨鸣皋同志编写，时铭显教授审定。在本书的资料搜集和编写过程中，曾得到梁迺麟、阎云清、蒋庆同、黄国平、刘秋实、张寿宇、范立中同志的热情帮助，在此致以深深的谢意。

1991 年 10 月

符 号 说 明

- q ——热流密度, 又称散热损失, W/m 或 W/m^2
 λ ——导热系数, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
 α_2 ——表面放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
 α_d ——对流放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
 α_f ——辐射放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
 t_f ——介质温度或管道和设备表面温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_w ——保温层表面温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_k ——环境温度, $^{\circ}\text{C}$
 δ ——厚度, m
 d ——直径, m
 F ——面积, m^2
 L ——长度, m
 T ——时间, h
 w ——风速, m/s
 C_n ——隔热结构外表面辐射系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$
 c_l ——介质比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
 G_Q ——介质流量, kg/h
 η ——隔热效率, %
 v ——比容, m^3/kg
 h ——焓值, kJ/kg
 ρ ——体积密度, kg/m^3
 R ——热阻, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
 N ——投资年分摊率, %
 P ——折旧率, %
 τ ——年运行时间, h
 C_m ——保温结构全年总费用, $\text{元}/\text{m}^2$ 或 $\text{元}/\text{m}$
 A ——保温工程单位造价, $\text{元}/\text{m}^3$
 B ——热能价格, $\text{元}/10^6\text{kJ}$
 γ ——密度, g/cm^3

目 录

符号说明

第一章 管道与设备隔热	(1)
第一节 隔热材料的主要技术指标.....	(1)
第二节 隔热材料.....	(4)
第三节 隔热计算.....	(20)
第四节 隔热结构设计及施工技术要点.....	(49)
第五节 热测试与隔热效果评定.....	(73)
第二章 催化裂化设备耐热耐磨衬里	(81)
第一节 衬里结构及材料的选择.....	(81)
第二节 衬里施工.....	(91)
第三节 特殊部位的衬里结构.....	(100)
第三章 加氢反应器衬里	(103)
第一节 大颗粒膨胀珍珠岩混凝土衬里.....	(103)
第二节 陶粒隔热砖砂隔热混凝土衬里.....	(111)
第三节 反应器衬里修补.....	(114)
第四章 工业炉	(116)
第一节 耐火砖砌体结构.....	(116)
第二节 挂砖结构.....	(135)
第三节 混合结构.....	(148)
第四节 轻质耐热混凝土结构.....	(158)
第五节 耐火纤维结构.....	(164)
第六节 耐火混凝土.....	(174)
第五章 特殊土建工程施工	(184)
第一节 打拔管爆扩成孔灌注桩.....	(184)
第二节 钻孔粘结地脚螺栓.....	(189)
第三节 倾斜油罐找正.....	(192)
第四节 耐酸地沟施工时地下水的处理.....	(193)
参考文献	(194)

第一章 管道与设备隔热

原油经一定的物理变化或化学反应而被加工成具有各种用途的油品和化工产品，其加工过程都离不开加热和冷却。产品质量的好坏与生产过程的工艺参数关系极大，温度、压力便是其中最基本的参数。另外，在衡量企业经济效益高低的单位能耗中也包括热能的损耗。如何既确保炼油过程的工艺参数，又要降低单位能耗，提高企业的经济效益，降低环境温度，改善劳动条件，防止操作人员烫伤，是管道和设备隔热的一项重要课题。

本章将介绍隔热材料应具备的技术指标、常用隔热材料、隔热计算、隔热结构设计、施工技术要点以及隔热效果的测试和评定。

第一节 隔热材料的主要技术指标

隔热的目的是为了减少热量传递。人们常把那些包裹“热源”的结构叫做保温结构，把那些包裹“冷源”的结构叫做保冷结构，把那些为保护设备的某些部件而在它和“热源”之间设置的热阻屏障叫做隔热结构。不管是保温还是保冷或是隔热都属隔热范畴，所以本书将这三种叫法统称为隔热，但在具体工程中因其目的各有侧重，本手册仍将出现这三种叫法。

隔热材料必须符合规定的技术指标才能适应特定的工作条件。隔热材料的技术指标具体体现在如下特征上。

一、导热系数

导热系数(导热率)是衡量材料导热能力的一个指标。一般认为，体积密度小于 500 kg/m^3 ，在平均温度等于或小于 350°C 时，导热系数小于 $0.12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 的材料适宜于各种保温工程。在平均温度等于或小于 350°C 时，导热系数大于 $0.12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 的材料在石油化工厂也常用于加热炉、反应器中作耐火隔热层。不同工作温度下材料的导热系数是不同的。

在隔热工程中，常常会遇到生产体积密度、使用体积密度和最佳体积密度的说法。生产体积密度是指生产厂实验室将产品放在试验机上施加标准压力所测得的厚度，并以此计算出的体积密度；使用体积密度是指矿物纤维材料、多孔软质或半硬质材料在施工中必须加力捆扎，以此来承受荷载和抵抗震动，材料被压缩后的体积密度；最佳体积密度是指隔热材料及其制品在何种体积密度条件下隔热性能最佳，生产厂家在确定生产体积密度的同时，还要推荐最佳体积密度。

最佳体积密度对矿纤材料及其制品和泡沫材料制品尤具实用价值。隔热材料的体积密度过大，则气孔率降低，导热系数增大；体积密度过小，则纤维间的对流与辐射作用加强，散热损失也会增大。从图 1-1 可以看出，超细玻璃棉体积密度小时，导热系数很大，随着其体积密度的增大，导热系数反而变小了。从图 1-2 我们也可以看出，这种纤维材料体积密度小时，导热系数很大，当它被压缩到 34 kg/m^3 时，它的导热系数最小，但往后，随着体积密度的增大，导热系数也随着增大。这种纤维材料的最佳体积密度就是 34 kg/m^3 。经测试，岩棉的最佳体积密度为 $90 \sim 150 \text{ kg/m}^3$ ，无碱超细玻璃棉毡的最佳体积密度为 $60 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ 。

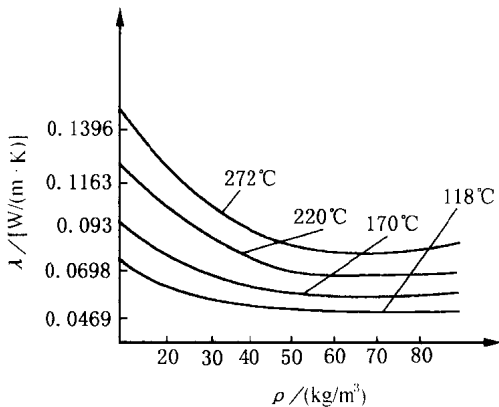


图 1-1 超细玻璃棉的导热系数、
体积密度、温度关系曲线

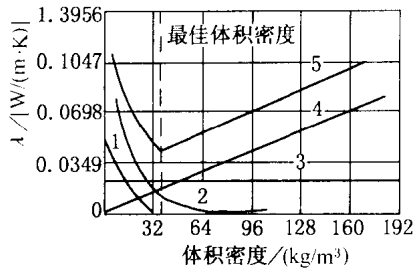


图 1-2 纤维材料的体积密度
与导热系数的关系

1—微量对流；2—辐射传热；3—通过空
气的传导；4—通过实体材料的传导；
5—总值

二、气孔率

气孔率也叫孔隙度，是材料体积被孔隙占有程度的指数。体积密度愈小，则材料气孔率愈大。隔热材料的气孔率较大，可达 50% ~ 98%。气孔率有三种表示方法：总气孔率、开口显气孔率和闭口气孔率。优良的隔热材料其气孔分布均匀，封闭的球型小孔愈多愈好。而具有开口不规则的大气孔和连通气孔的隔热材料，因内部的热对流和热辐射变大，使其隔热性能劣化。阻燃型硬质聚氨酯泡沫塑料的气孔均匀而又微小，是很好的保冷材料。将电厂煤灰中浮选出的一种微球煤粉做成的轻质耐火砖用于加热炉，炉墙不但耐高温，而且隔热性能也好。国内前几年试制的第一代泡沫石棉，虽然体积密度很小，但在实际工程使用中隔热效果并不理想，其原因就在于它的气孔呈扁形且又大又连通。

三、吸水率

材料吸收外来水分或湿气的重量占材料干燥时自然重量的百分比叫吸水率。材料吸水率增大会使导热系数明显增大。干空气 0℃ 时的导热系数为 0.0244 W/(m·K)，20℃ 时为 0.0259 W/(m·K) 因为水吸进去后，占据了气孔内的位置，而水在常温下的导热系数为 0.582 W/(m·K)，是干空气的 23 倍。对于在低温状态工作的保冷材料，含水率影响更大，因为保冷材料吸水后结冰，冰的导热系数是 2.267 W/(m·K) 左右，比干空气的导热系数大 93 倍。吸水率对隔热材料影响是如此之大，不得不引起极大的重视。另外，除了具有玻璃化薄壁形成的封闭气孔组织的材料(如泡沫玻璃、泡沫珍珠岩、釉化膨胀珍珠岩等)外，绝大部分隔热材料都吸湿，所以隔热结构的防水、防潮是个十分重要的问题。

四、机械强度、固形性和抗震性

(一) 机械强度和固形性

机械强度和固形性是指材料抵抗外力破坏的能力。机械强度主要是指抗压强度、抗折和抗拉强度。固形性是指材料能否固定成一定形状的结构，使它在轻微荷载和震动条件下不丧失其完好形状的综合特性。

(二) 抗震性

隔热材料通常也是吸音减震材料。对隔热结构产生震动的原因有转动设备对基础的激振，介质在容器内、管道内流通受阻、冲击内壁引起震动，蒸汽吹扫低温设备和管道引起的震动，还有共振等。这些震动在石油化工厂是不可避免的，所以选用隔热材料及设计隔热结

构都要根据具体情况考虑其抗震的要求。

五、耐热性和使用温度

耐热性是指隔热材料在某一特定温度下受热而技术性能仍无明显变化的特性。耐热性的高低主要取决于保温材料和胶结剂的化学成分。材料的耐热温度是在实验室中用标准材料，在标准温度、标准气氛和规定时间内测得的。而材料在实际工程中不可能有这些标准条件。同时也应考虑到材料材质的不均匀性，长期受热后也会产生性能衰减。为使材料的耐热温度有工程实用价值，在材料产品目录和工程设计中采用“使用温度”这个指标。一般“使用温度”比“耐热温度”低。

六、透气性、抗冻性和化学稳定性

（一）透气性

透气性是指蒸汽渗透性和空气渗透性。热量总是由高处向低处传递，水蒸气也是由较热处向较冷处移动。有的地方保冷施工质量不好，大气中的水蒸气渗透到保冷层中结成冰霜，使保冷层冻疏甚至破坏。

透气性的另一意思是空气渗透性，即指材料阻止空气穿入的性能。这种性能在食品冷藏库中要求严格一些，因为食品在贮存过程中总要散发出一些气味，如果保冷材料抵抗空气渗透性能差，不断吸收这些气味至饱和，尤其是那些腐烂变质气味，以后再慢慢释放出来就会污染新贮存的其它食品。

（二）抗冻性

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下经受多次反复冻融的性能。对于制冷系统的管道和设备的保冷结构，对于冬季气温低于 -15°C 的露天保温结构及外护抹灰，潮湿土壤中直埋管道的保温结构，虽然处于加热工况下使用，但停工检修、备用时就会变为冷态，故都应有抗冻性能要求。

（三）化学稳定性

材料的化学稳定性首先是指它本身对被隔热物体不产生腐蚀，挥发出的物质或发出的射线不要对人的身体有害。这就要求隔热材料不分解或少分解有害的化学成分和有害射线。如材料中的硫化物对碳钢有腐蚀，氯化物对奥氏体不锈钢有应力腐蚀。大量使用石棉可能危害人体健康。表1-1是聚氨酯泡沫塑料浸泡溶液的pH值和氯含量表。聚氨酯泡沫塑料的腐蚀主要是由于水的浸入引起的，在干燥状态下未发现它对钢材有腐蚀。

表 1-1 聚氨酯泡沫塑料浸泡溶液 pH 值及氯离子含量

材 料 \ 性 能	pH 值	氯离子含量/(mg/kg)
新硬质聚氨酯泡沫	6.7	56.5
旧硬质聚氨酯泡沫	4.0	105
老化硬质聚氨酯泡沫	3.1	175

表1-2是几种隔热材料的腐蚀参数，从表中可以清楚看出，无机隔热材料浸入水分后能引起钢材腐蚀，所以隔热结构的防水问题应引起足够重视。鉴于隔热材料的有害成分对钢材有腐蚀作用，因此要求隔热材料属中性或其pH值不小于7~8，硫化物、可溶性氯化物含量不大于0.06%。

表 1-2 几种隔热材料的腐蚀参数

溶出成分 材 料	促进腐蚀的成分氯离子/(mg/kg)	抑制腐蚀成分/(mg/kg)硅酸钠离子(Na^+ , SiO_3^{2-})
珍珠岩 1 [#]	200	40000
硅酸钙 2 [#]	150	1000
硅酸钙 VC(2 [#])	90	4000
超轻级硅酸钙	25	4000

其次,隔热材料化学稳定性还指它本身不会被周围介质所含有害气体和液体所腐蚀。隔热材料的化学稳定性与化学成分及气孔率有关。如玻璃纤维和膨胀珍珠岩对酸性介质有一定的抵抗力;岩棉与膨胀蛭石对碱性侵蚀有一定的抵抗能力;聚氯乙烯泡沫塑料对酸、碱、油均有抵抗力。在设计隔热结构时,一定要掌握材料这方面的性能和隔热结构周围的介质情况,使材料能扬长避短,各尽其用。

七、烧失量

隔热材料的烧失量(也叫灼烧减量)也是它的耐热性能高低和体积稳定的一个指标。烧失量是指材料在一定温度下灼烧一定时间后重量减少多少的指标。例如用隔热材料做隔热结构夹层,如果材料烧失量太大,夹层中就会出现较大空隙,使隔热结构承受机械振动和压力的能力降低。用它作耐火内衬结构,如果烧失量很大,表面就有可能出现收缩、减薄和剥落现象。

第二节 隔热材料

人们为了减少热工设备和热力管道的热损失,发现了许多隔热材料,并在使用中认识了它们的各种性能。随着生产的发展,人们又根据生产要求制造了许多隔热材料。本节分四大类介绍石油化工厂常用的几种隔热材料的技术性能。

一、发泡类隔热材料

(一) 有机发泡隔热材料

1. 可发性聚苯乙烯泡沫塑料

它是将聚苯乙烯树脂先加工成直径约 0.38~6mm 的颗粒,拌入发泡剂(如丁烷),装入密封的铸模内,用蒸汽、热水或红外线辐射加热使之预发泡,然后向它喷蒸汽并加压,使软质颗粒融合为一种均匀的整体泡沫多孔结构,最后冷却脱模。它的主要技术性能见表 1-3。

聚苯乙烯泡沫塑料制品有板、管壳,它主要用于做保冷材料,它可用沥青膏粘贴,再在上面刷沥青膏和缠绕玻璃布,上面捆油毡纸后安装镀锌铁皮保护壳。也可在保冷层上面直接涂刷阻燃防水涂料层或粘贴阻燃防水卷材。这种阻燃防水涂料和卷材的技术性能可见表 1-4 和表 1-5。

石油化工厂用聚苯乙烯泡沫塑料保冷有一个问题应引起重视,就是它的最高使用温度应为 75℃ 以下。在装置停工检修时,往往用低压蒸汽吹扫管线和容器,聚苯乙烯泡沫塑料是抗不住这个温度的,它会融化,使厚度严重减薄,以致丧失保冷功能。所以应在最里面衬一层矿物纤维毡,外面再加保冷层,两层层间温度应低于 75℃。

2. 聚氨酯泡沫塑料

聚氨酯泡沫塑料是近年来发展使用的一种优质保冷材料。它是以聚醚树脂与多亚甲基多苯基异氰酸酯(PAPI)为反应物,再加入交联剂(乙二胺聚醚)、催化剂(二月桂酸二丁基锡)、阻燃聚醚和发泡剂(氟里昂-11)等发泡反应而得的合成材料。它可以在模具中浇注成型,也

可现场机械喷涂成型。聚氨酯泡沫塑料的主要技术性能如表 1-6。

用于机械喷涂的聚氨酯泡沫塑料的材料配比如表 1-7。制造厂把 A、B 组分分装在密封的铁桶内，施工单位将材料运到现场按配比混合即可使用。机械喷涂要有发泡机和喷枪，模型浇注则不要。

夏天气温高，A 组分里的发泡灵足可以使之合成发泡；但气温低时，要外掺 PAPI 重量 1%~7% 的氟里昂，泡沫才发得好。

用聚氨酯泡沫塑料保冷是近几年的事，人们对它的性能还没有完全掌握，有的使用单位偏信生产厂的广告而在使用中发生火灾；有的则是施工单位不负责任造成的。阻火醚一般防火要求可以只掺 10 份，特级防火就应掺 15 份。掺阻火醚影响发泡，掺的过多，不但费用增高，而且发泡不充分，导热系数会增大，影响保冷效果。为了控制自燃性，质量监督人员应到现场采样点火试验。一般氧指数在 26 以下为可燃物；在 26 以上为阻火物；在 50 以上为不可燃物。

聚氨酯泡沫喷涂时，发泡时间只有 7~8s，20s 内能固化，喷到之处即时粘结，几乎没有流动性。喷涂工作面要尽量做到无障碍物。

表 1-3 聚苯乙烯泡沫塑料(板、管壳)主要技术性能

项 目		数 据
体积密度/(kg/m ³)		20~50
机械强度	抗压(压缩 10%)/MPa	0.12~0.18
	抗拉/MPa	0.4
常温导热系数/[W/(m·K)]		0.0314~0.0465
导热系数方程/[W/(m·K)]		$0.0349 + 0.0001396t_p$
比热容/(kJ/kg·K)		1.465
蒸汽渗透系数/(g/m·h·Pa)		$10 \times 10^{-6} \sim 13.5 \times 10^{-6}$
重量吸水率/%		0.11~0.40
体积吸湿率(相对湿度 95% 的空气中 90 天)/%		0.035
防火性		易燃,离火自熄
使用温度/℃		-80~75
化学稳定性		对水、海水、浓盐酸、浓硫酸、磷酸、5% 苛性钾(钠)的侵蚀均稳定,仅溶于丙酮、苯、混合汽油、香蕉水、乙醚等
制品加工性		可切割,可用石油沥青膏、环氧树脂、酚醛树脂、聚氨酯预聚体、聚醋酸乙烯、乳胶粘贴

表 1-4 PU-I 阻燃防水涂料技术指标

序号	项 目	技 术 指 标
1	拉伸强度/MPa	无处理 >1.85
		碱处理 不小于无处理值的 60%
		酸处理 不小于无处理值的 80%
2	断裂延伸率/%	无处理 >550
		碱处理 >200
		酸处理 >200
3	固体含量/%	≥0.4
4	低温柔性/℃	-30 无裂纹
5	不透水性	0.3MPa, 30min, 不渗漏
6	粘结强度/MPa	1.2~2.0

注:第 1~5 项执行《聚氨酯防水涂料》JC-500-92 中合格品要求。

表 1-5 PU-II 阻燃防水卷材技术指标

序号	项 目		技 术 要 求		
			优等品	一等品	合格品
1	拉伸强度/MPa	不小于	12.0	8.0	5.0
2	断裂伸长率/%	不小于	10		
3	低温弯折性/℃		-20℃, 1h, 无裂纹		
4	不透水性		0.2MPa, 24h, 不透水		
5	剪切强度/ N/mm	卷材与卷材 不小于	2.0		
		卷材与水泥 石棉板	/		
6	氧指数/%		/		

注:执行《氯化聚乙烯防水卷材》GB 12953-91 II 型要求。

表 1-6 聚氨酯泡沫塑料主要技术性能

技 术 指 标	制 品	
	硬 质	软 质
体积密度/(kg/m ³)	30 ~ 50	30 ~ 42
压缩 10% 时抗压强度/MPa	> 0.2	
常温导热系数/[W/(m·K)]	0.0366 ~ 0.0547	0.0233 ~ 0.0465
体积吸水率/%	0.03	
重量吸水率/%	0.2 ~ 0.3	—
使用温度/℃	- 80 ~ 100	- 50 ~ 100
防火性	可燃,离火 2 秒自熄	
化学稳定性	耐机油,20% 盐酸,45% 苛性钠侵蚀 24h 无变化	

表 1-7 喷涂聚氨酯泡沫塑料原料配比

组 分	序 号	原 料 名 称	重 量 配 比
A	1	阻燃聚醚	10
	2	乙二胺聚醚	7
	3	β -三氯乙基磷酸酯	8
	4	二乙撑三胺 6H ₂ O/乙二醇(1:1)	0.8
	5	发泡灵	0.5
	6	三氯三氟乙烷(F-113)	8
	7	二月桂酸二丁基锡	0.1
B	8	PAPI	23

注:组分配比 A:B=1:0.7。

另外,聚氨酯泡沫塑料对碳钢有点腐蚀现象。所以,在喷涂泡沫前应在金属表面除锈刷两道防锈漆作隔离层,聚氨酯泡沫塑料和防锈漆的粘结是牢靠的。

聚氨酯泡沫塑料的最高使用温度达不到 100℃。用它做重油罐保温应加以考虑,否则有可能大面积膨胀脱落。

用它做保冷层也有和聚苯乙烯泡沫塑料同样的问题,即停工时的蒸汽吹扫会引起它的高温融化减薄。在设计保冷结构时应予以考虑。

(二) 无机泡沫隔热材料

1. 微孔硅酸钙制品

微孔硅酸钙是用活性硅藻土与石灰反应构成硅钙石的主体,内掺石棉纤维起拉结作用,加入水玻璃起促凝作用混合制成的。

该制品的化学成分和技术性能如表 1-8。

表 1-8 微孔硅酸钙制品的化学成分和技术性能

化 学 成 分		SiO ₂ 36.19%	Al ₂ O ₃ 8.34%	Fe ₂ O ₃ 2.17%
		CaO 30.92%	MgO 2.58%	烧失量 17.98%
体积密度/(kg/m ³)		200 ~ 250		
机械强度/MPa	抗 压	浇注成型 ≥ 0.5,压制成型 0.76 ~ 1.0		
	抗 拉	浇注成型 ≥ 0.25,压制成型 0.36 ~ 0.5		
高温残余强度(在不同温度下受热 6h 后与烘干后常温强度之比)		400℃	93%	
		500℃	81.5%	
		600℃	80.2%	

续表

化 学 成 分	SiO ₂	36.19%	Al ₂ O ₃	8.34%	Fe ₂ O ₃	2.17%
	CaO	30.92%	MgO	2.58%	烧失量	17.98%
再热收缩率/%	≤2 (650℃)					
重量吸水率/%	390					
体积吸水率/%	87.5					
导热系数方程/(W/m·K)	0.0558 + 0.00011 t_p					
使用温度/℃	600					

保温管壳内径 $\phi 32 \sim 820\text{mm}$, 厚度 $40 \sim 180\text{mm}$ 均有生产。对于保温层厚度超过 80mm 时, 最好分两层施工。

2. 泡沫石棉

泡沫石棉是采用 4~5 级石棉纤维, 加进快速活性渗透剂和水玻璃加工而成的超轻质保温制品。它具有导热系数小, 耐热性高, 不刺激人的皮肤, 对金属腐蚀性小, 施工简单等优点。表 1-9 是泡沫石棉的主要技术性能。

表 1-9 泡沫石棉的技术性能

技 术 性 能	泡 沫 石 棉 板
纤维直径/ μm	< 3.5
生产体积密度/(kg/m^3)	50 ~ 70
使用体积密度/(kg/m^3)	70 ~ 95
抗拉强度/MPa	0.05 ~ 0.1
常温导热系数/[W/(m·K)]	0.0442 ~ 0.0523
导热系数方程/[W/(m·K)]	$0.03838 + 0.0002326t_p$
含湿率/%	≤ 1.5
使用温度/℃	500
尺寸允许误差/mm	
长 度	± 15
宽 度	± 10
厚 度	- 2 + 3
组织结构	纤维分布均匀, 无空隙、珠块及分层现象

第一代产品有表 1-9 这些性能, 最大的优点是不刺激人, 好施工, 抗急冷急热性能好。缺点是在露天使用时不耐雨淋, 施工遇大雨就有淋垮的危险。另外, 它的回弹能力差, 人脚踩上去, 过后就恢复不起来。第二代泡沫石棉板, 它保持了原有产品的优点, 克服了怕雨淋和回弹能力差的两大毛病。但仍未克服气孔过大、扁平、连通而使实际隔热效果不甚理想的毛病。齐齐哈尔耐火保温材料厂生产了名为碳镁硅的泡沫石棉, 以上毛病均有所克服, 形状似海绵。

3. 泡沫玻璃

泡沫玻璃是采用化学成分符合一定要求的玻璃粉(平板玻璃碎片或玻璃纤维粗丝碾细)、氧化硼、氧化锑与煤气发生物(焦炭、木炭等)混合进行熔融发泡烧结退火冷却而制成。它具有互不连通的釉化气孔结构, 机械强度及耐磨性高、不吸湿、耐腐蚀、抗冻性强, 可生产带色制品, 并有良好的加工特性(可锯、车、削、磨、钻)。使用温度及其它技术性能取决于所用原料的化学成分、生产工艺方式和孔隙结构。炼油厂酮苯装置套管结晶器用它保冷, 效果很好。但目前价格昂贵, 应用还不广泛。

泡沫玻璃的主要技术性能见表 1-10。

表 1-10 泡沫玻璃主要技术性能

机械强度/MPa	抗 压	≥1.18(5%变形)	1.4(破坏)
	抗 拉	0.7~1.0	
导热系数/[W/(m·K)]			
29.5℃		0.05~0.06978	
-52.3℃		0.01519	
-158℃		0.006978	
导热系数方程/[W/(m·K)]		0.05+0.0002326 t_p	
体积密度/(kg/m ³)		160~200	
体积吸湿率/%		0	
体积吸水率/%		0.2	
抗冻性(湿冻法)		25	
使用温度/℃		-200~500	

4. 焙烧硅藻土制品

硅藻土由含无定形氧化硅的藻类植物的化石沉积生成，呈黄灰色和绿灰色。

硅藻土制品是以优质硅藻土加可燃物和发泡剂，经机械成型干燥焙烧而成各种定型保温材料。它的主要性能见表 1-11。

表 1-11 硅藻土制品的技术性能

级别	耐火度/ ℃	体积密度/ kg/m ³	显气孔率/ %	常温耐压强度/ MPa	导热系数和导热方程			热膨胀系数
					温度/ ℃	导热系数	导热方程	
						W/ (m·K)		
A	1280	500±50	78.25	0.5	50	0.0814	0.072+0.00021 <i>t_p</i>	0.9×10 ⁻⁶
					350	0.144		
					550	0.174		
B	1280	550±50	75.25	0.7	50	0.095	0.085+0.000214 <i>t_p</i>	0.94×10 ⁻⁶
					350	0.159		
					550	0.192		
C	1280	650±50	73.14	1.1	50	0.110	0.1+0.000228 <i>t_p</i>	0.97×10 ⁶
					350	0.163		
					550	0.214		

由于硅藻土制品在受热后体积稳定，不易破碎，常用作加热炉隔热保温层。它的使用温度为 800~900℃，是其它保温材料不可比的，所以它常用做高温部位外保温。

硅藻土粉的技术性能见表 1-12。

表 1-12 硅藻土粉理化性能

类 别	体积密度/(kg/m ³)	导热系数和导热方程			残余水分/%
		温度/℃	导热系数	导热方程	
			W/(m·K)		
生 料	680	50	0.1186	0.105 + 0.000270 <i>t_p</i>	20 ~ 25
		350	0.202		
		550	0.244		
熟 料	600	50	0.093	0.083 + 0.000209 <i>t_p</i>	15 ~ 20
		350	0.156		
		550	0.187		

二、无机纤维隔热材料

(一) 玻璃纤维制品

玻璃纤维是将玻璃高温熔融后用气体或火焰喷吹而得的。玻璃纤维有三种产品。

1. 玻璃棉(短棉)

玻璃棉制品有沥青玻璃棉毡、玻璃棉缝毡、贴面沥青玻璃棉缝毡和沥青半硬板。这种玻璃棉制品隔热效果好,但施工难度大,刺激人的皮肤。检修时,有的设备隔热层需拆除,才能进行理化鉴定和工艺改动,拆除时漫天纷飞的玻璃纤维严重污染周围环境,所以这种制品直接用在石油化工厂已不受欢迎,短棉现在作为一种原材料掺入其它料中生产其它隔热材料制品。

2. 中级玻璃棉

这是采用陶土坩埚熔化垂直辊筒法生产定长纤维,再浸以淀粉粘结剂而成中级玻璃棉制品。主要品种有:贴面缝毡、淀粉粘合棉毡、棉板、管壳等。这种玻璃棉制品对人的皮肤也有刺激。

3. 超细玻璃棉

超细玻璃棉分为无碱和有碱两个品种。主要制品有:有碱超细玻璃棉毡、酚醛超细玻璃棉板及管壳、无碱超细玻璃棉及毡。超细玻璃棉在石油化工厂常被用作加热炉的消音罩和热风道的保温和消音层。它有时也被用来做其它设备的保温罩。超细玻璃棉制品主要技术性能见表 1-13。

表 1-13 超细玻璃棉制品的主要技术性能

制 品 种 类 技术性能	超细棉无脂毡和缝合垫	超细棉树脂制品	无碱超细玻璃棉 无脂毡和缝合垫
纤维平均直径/ μm	≤ 4	≤ 4	≤ 4
体积密度/(kg/m^3)	40~60(生产) 60~80(安装)	60~80	40~60(生产) 60~80(安装)
大于 0.25mm 渣球含量/%	< 0.4	< 0.4	< 0.4
含湿率/%	≤ 1	≤ 1	≤ 1
抗折强度/MPa	—	0.15~0.2	—
常温导热系数/[$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	≤ 0.03489	0.041	≤ 0.03489
导热系数方程/[$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	$0.033 \sim 0.035 + 0.0002326t_p$	$0.035 \sim 0.0384 + 0.0002326t_p$	$0.0326 \sim 0.035 + 0.0002326t_p$
使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	-120~400	-120~300	-120~600

(二) 岩棉

我国在 80 年代才生产岩棉制品,它是用玄武岩或辉绿岩加少量白云石和水渣经高温熔融离心而成为纤维,喷上粘接剂加压成型的。岩棉也刺激人的皮肤,但没有普通玻璃棉那样严重,短纤维的飞扬也小一些,隔热效果很好,是国内目前比较优良的隔热材料。

北京生产的龙牌岩棉制品的技术性能见表 1-14。

龙牌岩棉制品种类及定型尺寸和适用范围见表 1-15。

湖北松滋生产的纯岩棉制品技术性能见表 1-16。

表 1-14 龙牌岩棉制品技术性能

技术性能	技术指标	备注
导热系数方程/[W/(m·K)]	$0.0314 + 0.00020t_p$	$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$
纤维直径/ μm	4~7	
使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	-267~600	
>0.25mm 渣球含量/%	≤ 12	
纤维软化温度/ $^{\circ}\text{C}$	900~1000	
酸度系数	≥ 1.5	
吸湿率	<5	
憎水性	98	
体积密度/(kg/m^3)	80~200	
树脂含量/%	岩棉毡最大 1, 岩棉板最大 3	

表 1-15 龙牌岩棉制品、尺寸及适用范围

制品种类	岩棉板	岩棉玻璃布缝毡	岩棉铁丝网缝毡	岩棉保温带
体积密度/(kg/m^3)	80, 100, 150, 200 其中: 150 kg/m^3 厚度 $\leq 70\text{mm}$, 200 kg/m^3 厚度 $\leq 50\text{mm}$	80/100	80/100	100
规格 长×宽×厚/ mm×mm×mm	$1000 \times 630 \times \begin{cases} 30 \\ 50 \\ 80 \end{cases}$	$3000 \times 910 \times \begin{cases} 50 \\ 60 \end{cases}$	$3000 \times 910 \times \begin{cases} 50 \\ 60 \end{cases}$	$2400 \times 910 \times \begin{cases} 50 \\ 60 \end{cases}$
适用范围	罐体、锅炉、换热器、建筑隔热、吸音	工业设备及管道保温、吸音, 外面需加金属围护	罐体、锅炉、管道隔热, 亦适合建筑隔热保温, 外加金属围护	管道、罐体隔热, 也可作楼地面保温隔音
使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	500	400~600	600	200

注: 订货数量大可根据用户提出的规格生产。

北京龙牌岩棉管壳体积密度为 80~150 kg/m^3 , 内径为 $\phi 18 \sim 324\text{mm}$, 厚度 20~80mm, 长度 0.91m。

表 1-16 松滋纯岩棉制品的技术性能

技术性能	技术指标	备注
导热系数方程/[W/(m·K)]	$0.034 + 0.000202t_p$	$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$
纤维直径/ μm	4~7	
使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	-268~800	
大于 0.25mm 渣球含量/%	<12	
纤维软化温度/ $^{\circ}\text{C}$	>900	
不燃性	A ₁ 级	
酸度系数	≥ 1.8	
体积密度/(kg/m^3)	40~150	
吸湿率/%	0.1	
憎水率/%	99.8	
常温回弹率/%	56.5	
600 $^{\circ}\text{C}$ 、6h 加热线收缩/%	1	

表 1-17 列出了岩棉制品应达到的技术指标。