

工业炉

GONGYELU
NAIRE
LUCHEN

耐热炉衬

华泽镔 张德信 高捷 编著



化学工业出版社

工业炉耐热炉衬

华泽镔 张德信 高 捷 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工业炉耐热炉衬 / 华泽铎, 张德信, 高捷编著.
北京: 化学工业出版社, 2006.9
ISBN 978-7-5025-9529-6

I. 工… II. ①华…②张…③高… III. 工业炉-耐火材料-炉衬 IV. TK175

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118055 号

工业炉耐热炉衬

华泽铎 张德信 高捷 编著

责任编辑: 窦臻

责任校对: 周梦华

封面设计: 海马书装

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询: (010)64518888

购书传真: (010)64519686

售后服务: (010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 177 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9529-6

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

对高温工业炉而言,必须进行工业炉的内保温,其目的
一则为降低工业炉外壁温度,减少工业炉的散热损失,节省
能源;二则,采用高辐射率的炉衬材料,可增加工业炉炉衬
对被加热工件的热辐射量,可有效减少燃料的耗量。

优质的工业炉内衬材料应同时具备如下特性:①具有高的
长期使用温度;②具有较低的密度;③具有较小的导热系
数^①和高温线变化率;④具有良好的热稳定性;⑤具有较高
的辐射率。

工业炉内衬材料经历了漫长的发展过程:从重质耐火砖
挂砖、吊砖结构,发展为轻质耐火砖的砌砖结构。轻、重质
耐热混凝土的问世,使炉衬进入了第二个发展阶段,它的出
现大大简化了施工。耐火纤维在我国是20世纪70年代发展
起来的新型材料,是继耐火砖、耐热混凝土后,被称为“第
三代的新型炉衬材料”,它的主要特点是:密度小,导热系
数小,热容量小。这三大特点使炉衬质量大大减轻,相应减
少了工业炉的基础投资费用。由于热容量小,炉衬施工后不
需进行“养护”、“烘炉”,可直接投入使用,缩短施工周期,
大大提高经济效益。随着耐火纤维的推广使用,通过研究、
总结,使其更进一步地完善,已由单一的品种——耐火纤维

① 即“热导率”,为照顾行业习惯本书均采用“导热系数”。

毡，发展为多品种，包括：耐火纤维针刺毡、耐火纤维真空成型制品及耐火纤维织品等。在最近数年内，我们开始不定型耐火纤维的研究、研制，开发出了耐火纤维的第三代产品——耐火纤维喷涂炉衬和耐火纤维可塑性炉衬。耐火纤维喷涂不仅适用于工业炉新建炉衬的施工、旧有炉衬的快速修补，还为某些特殊热工设备的外保温问题，提供了新的解决途径（见第10章工业应用实例）。

耐热混凝土是一种使用多年的炉衬材料，它具有较高的强度，但导热系数和高温线变化率偏大等一直是生产、使用者所关注的问题。耐热混凝土的密度、强度、高温线变化率是一组相互矛盾的性能指标，如何使其得到完美的统一，通过多年的试验、研究，取得了“轻质、高强、低线变化率”的良好综合性能的耐热混凝土，并在工业炉中已得到较广泛的应用。“高强、低线变化率”耐热耐磨混凝土的问世，为众多高温磨蚀设备（如旋风分离器等）的衬里开辟了一条新的解决途径。

设计者、使用者应根据工业炉操作的工况条件，选择合适的炉衬材料。为获得最佳的炉衬保温效果，宜采用复合炉衬结构，其中包括：耐火砖-微孔硅酸钙板、耐火纤维制品-岩棉制品、重质耐热混凝土-轻质绝热混凝土等多种复合炉衬型式。复合炉衬的应用为工业炉内保温开辟了一条新的途径，能使各种材料做到“物尽其用”，既降低了工业炉外壁温度，又降低了炉衬的造价。

对某些特定的工业炉，操作过程中出现的“低温露点腐蚀”是一个应引起关注和需要解决的问题，本书对此做了简要的论述和探讨。

本书内容为笔者几十年来研制及施工炉衬的成果总汇，以此奉献读者，期望对读者有所帮助。本书所涉及的材料可在石油化工系统长期操作的工业炉，建筑材料系统的窑炉，

机械系统的工业炉（如退火炉等），以及冶金系统的部分工业炉内衬中使用。为便于使用者简化炉衬厚度的设计计算，本书用部分篇幅介绍“炉衬厚度的简易图表算法”，考虑到多年来的使用习惯，在这部分中，导热系数单位仍沿用 $\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ [$1\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})=1.163\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]。

本书适用于耐火材料制造商和应用单位有关人员、工业炉设计人员和施工人员阅读，相关专业大专院校师生也可作为参考。由于本书内容涉及面较广，编著时间仓促及水平有限，书中不当之处实属难免，敬请读者不吝指正。

华泽镔

2006 年 12 月于北京

目 录

1 工业炉耐热炉衬结构分类	1
1.1 概述	2
1.2 工业炉耐热炉衬结构的分类	2
1.2.1 重质挂砖炉衬结构	2
1.2.2 轻质耐火砖炉衬结构	4
1.2.3 耐火砖-微孔硅酸钙板复合炉衬结构	8
1.2.4 耐火纤维炉衬结构	12
1.2.5 轻质耐热混凝土炉衬结构	13
1.2.6 重质耐热混凝土炉衬结构	13
2 工业炉耐热炉衬的热工计算	15
2.1 传热计算公式	19
2.1.1 单层圆筒壁	19
2.1.2 多层圆筒壁	21
2.1.3 单层平面壁	22
2.1.4 多层平面壁	23
2.1.5 平面炉墙传热计算公式	25
2.1.6 例题	27
2.1.7 热工计算中对大气温度和风速的考虑	29
2.1.8 平壁传热的基本计算公式	30
2.2 工业炉炉衬结构的简易算法(图表法)	31
2.2.1 概述	31
2.2.2 计算实例	32
3 耐火纤维	41

3.1	耐火纤维的分类	42
3.1.1	概述	42
3.1.2	各类耐火纤维的原材料及纤维性能指标	42
3.2	耐火纤维及其制品的生产	44
3.2.1	原料熔融	44
3.2.2	纤维化	47
3.2.3	制品成型	48
3.3	耐火纤维的特性及损坏机理	49
3.3.1	耐火纤维制品的主要特性	49
3.3.2	耐火纤维炉衬的损坏机理	55
3.4	耐火纤维炉衬与常用炉衬性能比较	56
3.5	耐火纤维毡炉衬	57
3.5.1	概述	57
3.5.2	耐火纤维毡炉衬的施工	58
3.6	耐火纤维针刺毡炉衬	62
3.6.1	概述	62
3.6.2	原材料	62
3.6.3	耐火纤维针刺毡炉衬施工	65
3.7	耐火纤维喷涂炉衬	75
3.7.1	概述	75
3.7.2	耐火纤维喷涂衬里的施工	76
3.7.3	耐火纤维喷涂衬里的优点	80
3.8	耐火纤维可塑料炉衬	82
3.8.1	概述	82
3.8.2	纤维可塑料性能指标	82
3.8.3	纤维可塑料炉衬的施工	82
3.8.4	纤维可塑料炉衬的验收	84
3.8.5	纤维可塑料炉衬的优点	84
4	轻质耐热混凝土炉衬	87
4.1	概述	88
4.2	对原材料性能的要求	90

4.2.1	矾土水泥	90
4.2.2	矾土熟料	91
4.2.3	破碎高铝砖块	93
4.2.4	陶粒	94
4.2.5	膨胀珍珠岩	95
4.2.6	焦宝石	97
4.2.7	页岩陶砂	99
4.2.8	氧化铝空心球	99
4.2.9	硅粉	100
4.2.10	粉煤灰	100
4.2.11	矾土细粉	101
4.2.12	漂珠	102
4.2.13	膨胀蛭石	103
4.3	矾土水泥轻质耐热混凝土性能	107
4.4	矾土水泥轻质耐热混凝土炉衬的施工	108
4.5	矾土水泥轻质耐热混凝土炉衬的修补	109
4.6	矾土水泥轻质耐热混凝土炉衬的养护与烘炉	110
4.6.1	混凝土衬里的养护	110
4.6.2	混凝土衬里的烘炉	111
4.7	矾土水泥轻质耐热混凝土炉衬的验收	112
5	重质耐热混凝土炉衬	113
5.1	水泥质重质耐热混凝土	114
5.1.1	概述	114
5.1.2	矾土水泥重质耐热混凝土	114
5.1.3	氧化铝水泥重质耐热混凝土	119
5.2	磷酸盐质重质耐热混凝土	121
5.2.1	概述	121
5.2.2	磷酸铝溶液的制备	125
5.2.3	磷酸铝耐热混凝土配制	128
5.2.4	磷酸铝耐热混凝土的养护	129
5.2.5	磷酸铝耐热混凝土的烘炉	129

5.2.6	磷酸铝耐热混凝土衬里性能	130
6	钢纤维增强耐热混凝土	131
6.1	钢纤维增强耐热混凝土的基本原理	132
6.1.1	钢纤维改善混凝土的抗热震性	132
6.1.2	钢纤维改善混凝土的力学强度	132
6.1.3	钢纤维减小混凝土加热后的残余收缩	133
6.2	钢纤维的分类	133
6.2.1	碳钢纤维	133
6.2.2	405 型不锈钢纤维	134
6.2.3	446 型不锈钢纤维	134
6.2.4	304 型不锈钢纤维	134
6.2.5	330 型不锈钢纤维	134
6.3	钢纤维的生产	134
6.3.1	切断钢纤维法	134
6.3.2	剪切钢纤维法	135
6.3.3	切削钢纤维法	135
6.3.4	熔抽钢纤维法	135
6.4	影响钢纤维增强效果的因素	137
6.4.1	钢纤维长、径比	137
6.4.2	钢纤维的形状	138
6.5	钢纤维增强耐热混凝土的施工	139
7	一般常用耐热混凝土基本配制方案	141
7.1	低钙铝酸盐水泥	144
7.2	水玻璃	144
7.3	普通硅酸盐水泥	148
8	一般常用的绝热制品	151
8.1	硅藻土制品	152
8.1.1	硅藻土质隔热砖	152
8.1.2	硅藻土粉	152
8.1.3	硅藻土质焙烧板	152
8.2	膨胀蛭石制品	154

8.2.1	硅酸盐水泥膨胀蛭石制品	155
8.2.2	沥青膨胀蛭石制品	156
8.2.3	水玻璃膨胀蛭石制品	157
8.2.4	复合式膨胀蛭石制品	158
8.3	膨胀珍珠岩制品	158
8.3.1	普通硅酸盐水泥珍珠岩制品	159
8.3.2	水玻璃珍珠岩制品	160
8.3.3	矾土水泥珍珠岩制品	163
8.3.4	低钙铝酸盐水泥珍珠岩制品	164
8.3.5	磷酸铝珍珠岩制品	165
8.3.6	沥青膨胀珍珠岩制品	166
8.3.7	憎水性膨胀珍珠岩制品	167
8.4	玻璃棉制品	167
8.4.1	玻璃纤维的基本特性	168
8.4.2	玻璃棉纤维	168
8.4.3	玻璃棉板	168
8.4.4	玻璃棉毡	169
8.4.5	玻璃棉的吸声性能	169
8.5	石棉制品	170
8.5.1	温石棉的性能	171
8.5.2	石棉绳	173
8.5.3	泡沫石棉	173
8.5.4	石棉板	174
9	定型炉衬材料砌筑用泥浆	177
9.1	定型砖制品炉衬砌筑用泥浆	178
9.1.1	耐火黏土砖和轻质黏土砖砌筑专用泥浆	178
9.1.2	硅砖砌筑专用泥浆	178
9.1.3	高铝砖砌筑专用泥浆	178
9.1.4	硅藻土砖砌筑专用泥浆	178
9.1.5	膨胀蛭石(蛭石水泥板)砌筑专用泥浆	179
9.1.6	刚玉砖砌筑专用泥浆	179

9.2 耐热混凝土预制块炉衬砌筑用泥浆	181
9.2.1 硅酸盐耐热混凝土预制块砌筑专用泥浆	181
9.2.2 铝酸盐耐热混凝土预制块砌筑专用泥浆	181
9.2.3 磷酸盐耐热混凝土预制块砌筑专用泥浆	181
10 工业应用实例	183
10.1 轻质-重质耐热混凝土双层衬里的工业应用	184
10.1.1 W 系衬里的研制	185
10.1.2 高温绝热-耐磨衬里 (W-1~W-2 双层衬里) 工业 模拟试验	189
10.1.3 工业装置应用	194
10.2 耐火纤维喷涂炉衬在活动加热炉中的应用	200
10.2.1 概述	200
10.2.2 对原材料的要求	201
10.2.3 耐火纤维喷涂施工	201
10.2.4 加热炉运输及炉衬性能	202
10.2.5 使用评价	202
10.3 耐火纤维喷涂炉衬在石化加热炉中的应用	203
10.3.1 概述	203
10.3.2 施工的原材料	205
10.3.3 衬里结构	205
10.3.4 衬里施工	206
10.3.5 炉衬评价	206
10.3.6 结果	206
10.4 纤维喷涂在设备外保温上的应用	207
10.4.1 概述	207
10.4.2 设计考虑	210
10.4.3 施工	210
10.4.4 验收	211
10.5 复合炉衬喷涂在石化加热炉中的应用	212
10.5.1 炉衬结构	212
10.5.2 运行后检查、测试情况	214

10.5.3	结论	215
10.6	复合耐火纤维制品在石化工业炉中的应用	216
10.6.1	炉衬结构	216
10.6.2	炉衬施工	217
10.6.3	炉衬温度测定	218
10.6.4	经济效果分析	219
11	绝热、耐热材料试验方法	221
11.1	耐火纤维制品体积密度试验方法	222
11.1.1	范围	222
11.1.2	原理	222
11.1.3	试样处理	222
11.1.4	试验方法	222
11.1.5	结果计算	222
11.2	耐火纤维制品加热永久线变化试验方法	223
11.2.1	范围	223
11.2.2	原理	223
11.2.3	试样处理	223
11.2.4	试验方法	223
11.2.5	结果计算	224
11.3	致密耐火浇注料体积密度试验方法	225
11.3.1	适用范围	225
11.3.2	原理	225
11.3.3	试样	225
11.3.4	试验方法	226
11.3.5	结果计算	227
11.4	致密耐火浇注料冷折、冷压强度试验方法	228
11.4.1	适用范围	228
11.4.2	定义	228
11.4.3	原理	228
11.4.4	设备	228
11.4.5	试样	229

11.4.6	试验方法	229
11.4.7	结果计算	231
11.5	致密耐火浇注料高温线变化率试验方法	232
11.5.1	适用范围	232
11.5.2	定义	232
11.5.3	试样	232
11.5.4	试验方法	233
11.5.5	结果计算	234
11.6	热导率试验方法——防护热板法	235
11.6.1	适用范围	235
11.6.2	原理	235
11.6.3	装置	236
11.6.4	试件	237
11.6.5	测定过程	238
11.6.6	计算	241
11.7	不定形耐火材料试样制备	243
11.7.1	范围	243
11.7.2	原理	243
11.7.3	实验室和设备	243
11.7.4	抽样	245
11.7.5	试样规格	245
11.7.6	试验时加水量的确定	245
11.7.7	试样成型	246
11.7.8	试样养护	246
11.7.9	试样烘干	247
11.8	定形隔热耐火制品密度试验方法	247
11.8.1	原理	247
11.8.2	取样	247
11.8.3	试验	248
11.8.4	结果计算	248
11.9	定形隔热耐火制品冷压强度试验方法	249
11.9.1	原理	249

11.9.2	试样	249
11.9.3	试验	249
11.9.4	结果计算	250
11.10	定形隔热耐火制品重烧线变化试验方法	250
11.10.1	原理	250
11.10.2	设备	251
11.10.3	试样	251
11.10.4	试验	251
11.10.5	结果计算	252

1

工业炉耐热炉衬结构分类

1.1 概述

1.2 工业炉耐热炉衬结构的分类

1.1 概述

以油或瓦斯气为燃料、连续操作的高温（700～1400℃）工业炉，为降低炉外壁温度，节省能源，必须对工业炉内壁进行保温。内保温所用材料应满足 5 个基本要求：①具有较高的使用温度（允许长期使用温度为 700～1400℃）；②具有较轻的容重，以便减少工业炉基础投资费用；③具有较小的导热系数和高温线变化率；④具有良好的热稳定性；⑤尽可能采用高辐射率材料，以便增加炉衬对被加热体的热辐射量。

1.2 工业炉耐热炉衬结构的分类

工业炉炉衬根据使用工况的不同，基本可归分为 6 种结构型式。

1.2.1 重质挂砖炉衬结构

挂砖衬里结构是由砖架梁、挂砖架立柱、砖拉钩、砖托架等钢构系统和异型重质耐火砖、保温砖、保温层、密封层复合组成，见图 1-1 所示。

挂砖衬里是分段承重的，每段高约 500～1000mm，分段处留出水平膨胀缝，缝宽 10～15mm，填以石棉绳（或耐火纤维绳）。立面膨胀缝的处理有两种方法：一种是分散法，即采用四面咬口的异型砖干砌，各砖间的间隙即是膨胀缝；另一种是集中法，异型砖无需四面咬口，但应