

HUAXUE GONGYELU
SHEJI SHOUC

化学工业炉 设计手册

化工部工业炉设计技术中心站组织编写

化学工业出版社

TQ 051.6-62

H

63

化学工业炉设计手册

化工部工业炉设计技术中心站组织编写

化学工业出版社

6392

《化学工业炉设计手册》全面地介绍了化学工业炉的结构、设计计算方法和设计计算案例，提供了有关标准规范、数据资料，并重点提供了节能措施资料。

《化学工业炉设计手册》，包括第一～第十二章。介绍化学工业炉燃烧装置的设计计算，传热计算，炉用材料，炉用零部件和设计计算用的标准规范、数据资料等。

另外为配合本《手册》的使用，还编写了《化学工业炉设计手册—设计计算案例》，包括第十三～第十九章。详细介绍一段蒸汽转化炉、烃类裂解炉、重油汽化炉、废物焚烧炉、热载体加热炉、管式加热炉和碎煤加压气化炉的结构和设计计算案例。

《手册》可供化工、石油、轻纺、机械、冶金等部门工业炉设计人员及大专院校有关专业师生参考。

化学工业炉设计手册

化工部工业炉设计技术中心站组织编写

责任编辑：刘 威

封面设计：季玉芳

*

化学工业出版社 出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

开本787×1092¹/₁₆ 印张55 字数1343千字

1988年12月第1版 1988年12月北京第1次印刷

印 数 1—4,400

ISBN 7-5025-0170-3/TQ·132

定 价 18.30元

前 言

化学工业炉是石油化工生产过程中的关键设备之一。许多化工过程如反应、裂解、加热和废物焚烧等需在工业炉中实现。它具有高温换热或火焰燃烧等特点。随着我国石油化学工业的发展,化学工业炉的技术也得到迅速的发展。为总结和交流设计经验、满足本专业设计人员的工作需要,我们组织编写了《化学工业炉设计手册》。

《化学工业炉设计手册》包括第一~第十二章,介绍化学工业炉燃烧装置的设计计算、传热计算、炉用材料、炉用零部件和设计计算用的标准规范、数据资料等。另外为配合《手册》的使用编写了《化学工业炉设计手册—设计计算案例》,包括第十三~第十九章,详细介绍一段蒸汽转化炉、烃类裂解炉、重油气化炉、废物焚烧炉、热载体加热炉、管式加热炉和碎煤加压气化炉的结构和设计计算案例。

《手册》的编写原则是力求简明、实用,内容成熟可靠,适应化学工业炉设计的实际需要,编入的数据和图表紧密结合化学工业炉技术,并结合设计计算案例给予必要的说明。

《手册》是由化学工业部工业炉设计技术中心站组织编写,参加单位有兰州石油化学工业公司设计院、吉林化学工业公司设计院、化学工业部第一设计院、化学工业部第六设计院、上海化工设计院、上海医药设计院和纺织工业部设计院等。编写人员:姚国俊(第一、六章),陆忠逵(第二章),于亚天(第三、八章),洪达(第四章),王本邦(第五章),龚亚霓(第七章),杨仕昌(第九章),杨慧林、龚亚霓(第十、十一章),沈含基(第十二章),于遵宏(附录中区域法),刘志学(第十三章),张沛林(第十四章),高学孟(第十五章),陈德祥(第十六章),黄森炎(第十七章),许钧烈(第十八章),曹长淦、张治兴(第十九章)。参加各章校审人员为姚国俊、高学孟、张治涛、何凤岐、童明、卓克涛、曹长淦、陆忠逵、许钧烈、陈德祥、延福庆、沈含基、杨仕昌、胡礼平、梁其和、赵永林、于亚天、吴国昭、张沛林、刘志学、余惠筠、凌之渊、石瑛等。负责全面审核的有姚国俊、高学孟和张治涛。

《手册》在编写过程中,曾先后五次召开由高等院校、设计、施工和生产单位参加的审稿会,得到与会代表的热情支持,谨在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬希读者提出宝贵意见。

《化学工业炉设计手册》编写组

目 录

第一章 化学工业炉总论 1	
第一节 概述..... 1	
第二节 常见炉型..... 1	
一、水煤气发生炉..... 1	
二、碎煤加压气化炉..... 2	
三、重油气化炉..... 3	
四、合成氨生产一段转化炉..... 3	
五、合成氨生产二段转化炉..... 4	
六、裂解炉..... 6	
七、回转窑..... 6	
八、管式炉..... 6	
九、热载体加热炉..... 10	
十、焚烧炉..... 13	
第三节 设计要点..... 15	
一、设计原则..... 15	
二、设计原始资料..... 16	
三、设计中需要注意的问题..... 16	
第二章 工业炉计算常用理化数据 19	
第一节 临界常数..... 19	
表2-1某些气体的临界常数 20	
第二节 比重与重度..... 20	
一、烃类液体的比重..... 21	
表2-2某些油品的比重 21	
二、混合液体的重度..... 21	
三、气体的重度..... 24	
表2-3常用气体的重度 24	
表2-4气体燃料的重度 24	
四、气液混合相的重度..... 26	
图2-1石油比重图 21	
图2-2烷烃比重图 22	
图2-3烯烃、二烯烃比重图 22	
图2-4芳香烃比重图 23	
图2-5气体通用压缩系数图 25	
第三节 比热和绝热指数..... 26	
一、液体的比热..... 26	
图2-6烷烃、烯烃、二烯烃液体 比热图 27	
图2-7芳香烃液体比热图 28	
二、气体的比热..... 29	
表2-5气体燃料的平均比热 ($p = 760\text{mmHg}$) 29	
表2-6发生炉煤气烟气的平均 比热($p = 760\text{mmHg}$) 33	
表2-7炼焦煤气的烟气的平均 比热($p = 760\text{mmHg}$) 34	
表2-8重油的烟气的平均比热 ($p = 760\text{mmHg}$) 34	
表2-9轻烃平均分子比热 ($p = 0 \sim 1\text{ata}$) 35	
表2-10常用气体的平均比热 ($p = 760\text{mmHg}$) 36	
三、混合物的比热..... 37	
四、气体的绝热指数..... 37	
五、燃料和灰分的比热..... 37	
表2-11煤和炉渣的比热..... 37	
表2-12固体燃料灰分的比热..... 37	
图2-8常用气体平均分子比热图 29	
图2-9烷烃蒸汽比热图 30	
图2-10烯烃蒸汽比热图 31	
图2-11二烯烃、炔烃、二氯乙烷、 乙腈蒸汽比热图 32	
图2-12常用气体真实分子比热图 33	
图2-13气体真实比热图 38	
表2-13图2-13中的标号 38	
图2-14气体真实比热校正图 39	
图2-15气体 $C_p - C_v$ 图 40	
第四节 焓..... 40	
一、石油馏分的焓..... 40	
二、氢及其它常用气体的焓..... 42	
三、烃类气体的焓..... 42	
四、混合物的焓..... 42	
表2-14常用碳氢化合物的焓值 43	
图2-16石油馏分的焓图 41	
图2-17氢及其它常用气体焓图 42	
第五节 蒸发潜热、生成热、燃烧热..... 45	
一、蒸发潜热..... 45	
二、生成热..... 45	
三、燃烧热..... 45	
表2-15碳氢化合物的生成热(一) 45	
表2-16碳氢化合物的生成热(二) 47	
表2-17常见无机物的生成热 48	
表2-18碳氢化合物及 H_2 、C、CO 的燃烧热 48	
表2-19主要烃类的含氢量 50	

图2-18烷烃蒸发潜热图	51
图2-19烯烃、二烯烃蒸发潜热图	52
图2-20芳香烃蒸发潜热图	53
图2-21石油馏分在常压时蒸发潜热 与中平均沸点关系图	54
图2-22碳氢化合物的生成热图	55
第六节 导热系数	55
一、液体的导热系数	55
二、气体的导热系数	60
图2-23石油产品液体导热系数图	56
图2-24烷烃液体导热系数图	57
图2-25烯烃、二烯烃、炔烃液体 导热系数图	58
图2-26芳香烃液体导热系数图	59
图2-27正烷烃气体导热系数图	60
图2-28异构烷烃、烯烃气体导热 系数图	61
图2-29二烯烃、炔烃、醇类气体 导热系数图	62
图2-30烃类气体导热系数图	63
图2-31常用气体导热系数图	64
图2-32高压下气体导热系数图	65
第七节 粘度	63
一、液体的粘度	65
二、气体的粘度	69
图2-33液体烃粘度图(常压及中压)	66
图2-34烷烃液体粘度图	67
图2-35烯烃、二烯烃、炔烃液体 粘度图	68
图2-36油品粘度与温度的关系图 (低粘度)	69
图2-37油品粘度与温度的关系图 (高粘度)	70
图2-38烷烃、烯烃、二烯烃、炔烃 蒸汽粘度图	71
图2-39烃蒸汽在常压下粘度图	72
图2-40常用气体在常压下粘度图	73
图2-41一般气体在常压下粘度图	74
表2-20图2-41中的X和Y值	75
图2-42气体在高压下粘度图	76
图2-43饱和水、饱和水蒸汽粘度图	77
图2-44过热水蒸汽粘度图	78
第八节 常用物质的综合理化数据	78
一、水和水蒸汽	78
表2-21饱和水的物理参数	78

表2-22饱和水蒸汽的物理参数	80
表2-23饱和水和饱和水蒸汽的热 力学性质(以 p 为变量)	81
表2-24未饱和水和过热水蒸汽的 比容和焓(以 p, t 为变量)	82
二、气体	89
表2-25常用气体的物理参数 ($p = 760\text{mmHg}$)	89
表2-26烟气的物理参数($p = 760$ mmHg); 组成: $\text{CO}_2 13\%$, $\text{H}_2\text{O} 11\%$, $\text{N}_2 76\%$)	95
图2-45烟气中 H_2O 含量对 λ 的 修正图	96
图2-46烟气中 H_2O 含量对 ν 的 修正图	96
图2-47烟气中 H_2O 含量对 Pr 的 修正图	96
第三章 节能措施	97
第一节 常用节能措施	97
一、降低过剩空气系数	97
二、采用翅片管和钉头管	99
三、采用耐火纤维炉衬	101
四、重油掺水燃烧	103
(一)重油掺水的效果	103
(二)油掺水乳化系统的类型	103
(三)乳化器	104
(四)掺水时应注意的问题	106
五、防止烟气低温硫酸腐蚀	106
(一)应用举例	106
(二) SO_2 向 SO_3 的转化与烟气中 硫酸含量的确定	107
(三)烟气中硫酸在金属表面上的 沉积及对钢材的腐蚀	108
(四)设计中对低温硫酸腐蚀的考虑	108
第二节 废热锅炉	110
一、石油化工废热锅炉的特点	110
二、化工废热锅炉	111
(一)转化气废热锅炉	111
(二)水煤气废热锅炉	115
(三)中置式废热锅炉	115
(四)双套管椭圆集流管板废热锅炉	117
(五)三菱急冷废热锅炉	118
(六)刺刀式废热锅炉	120
(七)盘管式废热锅炉	120
(八)硫酸废热锅炉	123

第三节 空气预热器	124
一、管式空气预热器	124
二、回转式空气预热器	125
(一)回转式空气预热器的结构	125
(二)转子蓄热体的材质及组成	126
(三)转子的吹扫及清洗	127
(四)采用回转式空气预热器需要考虑的问题	127
(五)回转式空气预热器的优缺点	127
三、玻璃管空气预热器	128
(一)玻璃管空气预热器的结构	128
(二)玻璃管的化学成分与耐热性	129
(三)管端密封装置	129
(四)漏风	131
(五)玻璃管预热器的烟气阻力	133
(六)卧式管束排列方式及节距选择	134
(七)玻璃管空气预热器的防护	134
(八)玻璃管空气预热器的优点	134
(九)空气预热器玻璃管的规格及理化性能	135
第四节 热管	136
一、热管的结构与工作原理	136
(一)热管的结构	136
(二)工作原理	136
二、热管的种类及其特点	137
(一)热管的种类	137
(二)热管的特点	137
三、热管工质的选择	137
四、热管材料的选择	199
五、热管的设计	139
(一)设计步骤	139
(二)热管的直径	139
(三)热管管壳及端盖的设计	140
(四)吸液芯的设计	144
(五)携带限和沸腾限核算	145
第五节 远红外加热	151
一、远红外线辐射	151
(一)红外线及其分类	151
(二)远红外线加热的特点	151
(三)远红外辐射	152
二、远红外线辐射材料	153
三、远红外辐射加热器	155
(一)远红外辐射加热器的类型	156
(二)板状远红外加热器	157
(三)氧化镁管远红外加热器	157

(四)煤气远红外加热器	158
(五)灯型远红外加热器	161
四、远红外加热炉的设计	162
(一)设计方法	162
(二)热平衡计算	162
(三)功率计算	163
第四章 燃料及燃烧	164
第一节 固体燃料	164
一、煤的成分分析方法	164
(一)工业分析	164
(二)元素分析	164
二、煤的成分表示方法	164
(一)应用基	164
(二)分析基	165
(三)干燥基	165
(四)可燃基	165
(五)有机基	165
三、煤的成分表示方法之间的换算	165
四、煤的成分图解示意	166
五、煤的分类	166
第二节 液体燃料	169
一、重油分类	169
二、油品质量指标	170
第三节 气体燃料	175
一、气体燃料的种类	175
二、气体燃料特性指标	175
三、气体燃料干、湿成分之间的换算	175
第四节 燃料的物理化学性质	182
一、比重和重度	182
(一)固体燃料的比重	182
(二)液体燃料的比重	183
(三)气体燃料的比重和重度	187
二、发热量	187
(一)固体和液体燃料发热量的计算	188
(二)气体燃料发热量的计算	192
三、挥发分	192
四、机械强度、热稳定性、粒度及可磨性	193
五、凝固点	193
六、硫含量	193
七、灰分	194
(一)煤的灰分	194
(二)油的灰分	195
八、水分	195
(一)固体燃料	195

(二)液体燃料	196	(一)GW-I型油喷嘴	262
(三)气体燃料	196	(二)GW-II型油喷嘴(原HB型油 喷嘴)	263
九、闪点、燃点、自燃点及爆炸极限	196	(三)GN-I型油喷嘴	263
十、残炭	198	(四)GN-Q型轻油喷嘴	266
第五节 燃料的燃烧计算	199	(五)其它型式的高压油喷嘴	268
一、理论空气量	199	(六)高压油喷嘴的计算	272
(一)已知燃料成分求理论空气量	199	三、常用机械雾化油喷嘴	279
(二)按经验公式计算理论空气量	200	(一)简单压力式机械雾化油喷嘴	280
二、实际空气量	200	(二)ZBF型电动转杯式油喷嘴	280
三、烟气的成分、气量和重度	201	(三)简单压力式机械雾化油喷嘴 计算	284
四、燃烧温度	205	(四)内回油式机械雾化油喷嘴计算	286
五、烟气的热焓	206	四、常用燃油喷嘴的技术性能	289
六、过剩空气系数的验算	214	第三节 煤气烧嘴	289
第五章 燃烧装置	215	一、常用扩散式煤气烧嘴	289
第一节 煤的燃烧装置	215	(一)DW-I型煤气烧嘴	291
一、煤的燃烧特点	215	(二)中高压煤气烧嘴	291
(一)燃烧过程	215	(三)扩散式煤气烧嘴的计算	296
(二)燃烧条件	215	二、常用引射式和半引射式煤气烧嘴	302
二、人工炉	217	(一)喷射式煤气烧嘴	303
(一)水平炉篦炉	217	(二)TGP-I型天然气高压喷射式 烧嘴	304
(二)阶梯炉篦炉	219	(三)板式无焰烧嘴	309
三、链条炉	221	(四)侧壁煤气烧嘴	309
(一)链条炉的工作特性	221	(五)其它半引射式煤嘴	314
(二)链条炉篦的结构	223	(六)引射式煤气烧嘴的计算	315
(三)链条炉的炉膛结构	225	三、常用煤气烧嘴的技术性能	335
四、往复炉	229	第四节 油-气联合烧嘴	335
(一)往复炉的工作特性	229	一、Ⅲ型油-气联合烧嘴	335
(二)往复炉篦结构	230	二、扁平火焰油-气联合烧嘴	338
(三)往复炉的炉膛结构	232	(一)倒梯台炉油-气联合烧嘴	338
五、下饲炉	234	(二)门式炉底部油-气联合烧嘴	340
(一)下饲炉的工作特性	234	(三)正梯台炉油-气联合烧嘴	342
(二)下饲炉的主要结构及其计算	235	三、其它型式的油-气联合烧嘴	343
(三)下饲炉的规格及其性能	236	第五节 工业炉烧嘴噪声及其控制	344
六、层燃炉的计算	237	一、噪声的定义及其物理参数	345
(一)炉篦的计算	237	(一)噪声的定义	345
(二)炉膛的计算	239	(二)噪声的物理参数	345
(三)煤层阻力的计算	240	二、烧嘴的噪声特性及其允许标准	347
第二节 燃油喷嘴	240	(一)烧嘴的噪声特性	347
一、常用低压燃油喷嘴	240	(二)烧嘴噪声的允许标准	348
(一)C-I型油喷嘴	241	三、烧嘴噪声控制方法	349
(二)K型油喷嘴	245	(一)低噪声烧嘴	349
(三)R型比例调节油喷嘴	249	(二)烧嘴消声罩	349
(四)RC、RK型油喷嘴	256		
(五)低压油喷嘴的计算	259		
二、常用高压油喷嘴	261		

(三)进风消声箱	349	(二)传热系数	392
四、消声罩、消声箱的结构设计原则	351	(三)管内放热系数	397
(一)消声罩	351	二、对流段计算方法(一)	400
(二)消声箱	355	(一)烟气在对流室的辐射放热系数	400
第六章 传热计算	359	(二)烟气横向冲刷顺列光管管束时	
第一节 概论	359	的对流放热系数	401
一、概述	359	(三)烟气横向冲刷错列光管管束时	
二、导热系数	359	的对流放热系数	401
三、辐射传热	360	(四)翅片受热面的传热系数	404
四、对流传热	361	三、对流段计算方法(二)	412
第二节 辐射室传热计算	361	(一)对流段采用光管时管外放热	
一、概述	361	系数	412
二、辐射室的热平衡	362	(二)对流段采用钉头管时管外放热	
三、辐射室几种传热计算方法的简介		系数	412
与比较	362	(三)对流段采用环形翅片管时管外	
(一)罗伯-依万斯法	363	放热系数	413
(二)别洛康法	363	(四)对流室砖墙的辐射	415
(三)巴赫希扬法	363	(五)翅片尖端温度	416
(四)佐野司郎法	364	第四节 散热损失及炉管壁温	417
(五)霍脱尔区域法	364	一、炉墙的散热损失	417
四、罗伯-依万斯法	365	二、管道或圆柱体设备的热损失	417
(一)有效受热面积	365	三、炉墙外壁对空气的放热系数	420
(二)换算黑度	366	四、传热面壁温的确定	422
(三)辐射室出口烟气温度	369	(一)两侧壁温	422
五、别洛康法	374	(二)有管排遮蔽的辐射室墙面温度	423
(一)别洛康法基本计算方程式	374	(三)合理确定炉墙外壁温度	424
(二)辐射室出口烟气温度	375	五、实炉底的散热损失	424
(三)辐射管管壁平均温度	376	第七章 阻力计算及烟囱设计	425
(四)辐射管烟气对流传热系数	376	第一节 炉管内压力降	425
(五)当量绝对黑体表面积	377	一、流体通过管内无相变时的压力降	425
六、水管锅炉炉膛传热计算方法(一)	381	(一)按流体动力学基本公式计算压	
(一)炉膛出口烟气温度	381	力降	425
(二)炉内有效辐射层厚度	382	(二)炉管入口总压力计算	427
(三)火焰黑度	382	二、流体通过管内有相变时的压力降	428
(四)火焰有效黑度	383	(一)气化点	428
(五)炉膛黑度	384	(二)气化段炉管的当量长度	428
七、水管锅炉炉膛传热计算方法(二)	384	(三)气化段的压力降	428
(一)炉膛出口烟气温度	384	(四)气化点前压力降	429
(二)三原子气体辐射减弱系数	385	第二节 烟道阻力计算	435
(三)炭黑粒子的辐射减弱系数	386	一、烟道摩擦阻力计算	435
(四)火焰有效黑度	387	(一)摩擦阻力系数	436
(五)炉膛黑度	387	(二)通道当量直径	436
第三节 对流室传热计算	391	二、烟道局部阻力计算	437
一、概述	391	三、管束阻力计算	437
(一)平均温差	391	(一)烟气横向冲刷光管束的阻力	437

(二)烟气流过斜向错列排管时光管束阻力	450
(三)烟气横向冲刷翅片管束阻力	453
(四)烟气横向冲刷钉头管错列管束	456
四、自生通风	458
五、烟气总阻力	458
六、阻力的实际应用	458
第三节 烟囱的设计	460
一、烟囱型式	460
二、烟囱的设计	460
(一)烟囱的作用	460
(二)烟囱的设计基准	460
(三)烟囱内烟气的温降	460
(四)“破风圈”的作用	460
(五)蝶阀的作用	461
(六)烟囱高度的计算	462
(七)烟囱直径的计算	465
第四节 引风机的选取	472
一、引风机压头	472
二、引风机风量	472
三、引风机的选择	473
第八章 炉用金属材料	474
第一节 各种钢的物理参数	474
一、导热系数	474
二、线膨胀系数	475
三、重度	477
四、电阻率	478
五、弹性模数	480
第二节 碳素钢和合金结构钢	481
一、甲类、特类普通碳素钢的机械性能	482
二、乙类、特类普通碳素钢的化学成分	483
三、优质碳素钢的机械性能	484
四、碳素结构钢的高温机械性能	486
五、合金结构钢的高温机械性能	487
第三节 耐热钢和钢材渗铝	490
一、耐热钢和耐热合金	490
(一)高温性能	490
(二)合金元素对钢的抗氧化性的影响	494
二、常用耐热钢的性能	491
三、耐热钢和耐热合金的选用	495
(一)锅炉用耐热钢	495
(二)紧固件用耐热钢和耐热合金	497
(三)炉用耐热钢	499
(四)炼油和化工设备用耐热钢	501

四、钢材渗铝	503
第四节 一般铸钢和耐热铸钢	505
一、一般铸钢	505
二、耐热铸钢	506
(一)特性	506
(二)分类	509
第五节 一般铸铁及耐热铸铁	511
一、一般铸铁	511
二、耐热铸铁	515
三、铸铁渗铝	517
第六节 管材和板材	517
一、管材	517
(一)不锈、耐酸无缝钢管 (YB804-70)	517
(二)石油裂化用钢管(YB237-70)	522
(三)低中压锅炉用无缝钢管 (GB3087-82)	525
(四)锅炉用高压无缝钢管 (YB529-70)	526
二、板材	532
(一)锅炉用碳素钢及低合金钢板 (GB713-72)	534
(二)不锈、耐酸及耐热钢板 (YB541-70)	535
(三)压力容器用碳素钢及普通低合金 钢热轧厚钢板(YB536-69)	541
第七节 炉管	544
一、炉管的物理性能	545
二、国产炉管	549
(一)节Ni钢种	549
(二)国产高温承压用离心铸造 合金炉管	551
三、国外炉管	553
(一)ZG4Cr25Ni20离心浇铸管 (即HK40)	553
(二)Cr25Ni20冷轧管	554
(三)ZG5Cr25Ni35Co15W5离心浇铸 管(即Supertherm)	556
(四)Incoloy800合金钢管	557
(五)日本久保田炉管	558
第八节 焊条与焊接	561
一、焊条	561
(一)正确选择焊条的意义	561
(二)焊条分类	561
(三)焊条型号和牌号的表示法	562

(四) 炉子常用焊条	563
1. 结构钢焊条	563
2. 钼和铬钼耐热钢焊条	565
3. 不锈钢焊条	566
4. 镍及镍合金焊条	568
(五) 焊条的选用	568
(六) 焊条牌号和国标的对照	571
二、异种钢材的焊接	573
(一) 异种材料焊接用焊条	573
(二) 施焊条件	574
(三) 异种钢焊接时焊条的选用	575
三、焊丝	575
(一) 钢焊丝(GB1300-77)	575
(二) 管状焊丝	578
四、奥氏体耐热钢的焊接	579
(一) ZG4Cr25Ni20(HK40)的焊接	579
(二) Cr20Ni32等的焊接	579
(三) 高级耐热钢的焊接要求	579
(四) 油渗着色检查法	579
第九节 各国钢号和焊条对照	579
一、世界十二个国家钢号对照表	579
(一) 优质碳素结构钢	579
(二) 合金结构钢	582
(三) 不锈钢耐热钢	592
二、国内外焊条对照表	602
第九章 炉用元件强度计算	607
第一节 概述	607
第二节 承受内压筒体的计算	607
一、筒体需要最小壁厚	607
二、弯曲应力的校核	614
第三节 承受内压的圆筒形联箱的计算	616
第四节 承受内压的凸形封头的计算	616
第五节 承受内压的平端盖、平堵头及平板的计算	617
一、圆形平端盖的计算	617
二、平堵头和平板的计算	619
第六节 开孔补强计算	619
一、等面积补强法	619
二、大开孔补强计算	621
第七节 承受内压力的异形元件的计算	622
一、焊接三通	622
二、等径叉形管	622
三、弯头的计算	624
四、直管弯制U形管的计算	627
第八节 炉管的计算	628

一、弹性设计(较低温度)	628
二、断裂设计(较高温度)	629
三、许用应力	632
四、最高管壁温度的计算	642
五、炉管的受力分析	644
第九节 管板与支撑	649
一、许用应力	649
二、载荷	650
三、腐蚀余量	650
四、管板的类型及支撑方式	650
五、管架强度计算	650
(一) 圆筒炉炉管吊钩强度计算	650
(二) 横管立式炉管架强度计算	655
第十节 炉架计算	660
一、拱顶旁推力计算	660
二、侧支柱承受的最大弯矩 M_{max}	660
三、拉杆受力计算	664
四、拱脚梁承受的最大弯矩 M_{max}	664
五、前、后支柱长细比计算	664
六、钢材许用应力	664
第十章 耐火材料和隔热材料	668
第一节 耐火材料	668
一、耐火材料的主要性质	668
(一) 化学-矿物组成	668
(二) 组织结构	668
(三) 力学性质	669
(四) 热学性质	669
(五) 高温使用性能	670
二、工业炉用耐火材料的要求	674
三、耐火砖	674
(一) 分类及使用范围	674
(二) 常用耐火制品标准号及名称	677
(三) 常用耐火砖理化指标及技术条件	677
四、耐火混凝土	689
(一) 胶结剂	689
(二) 骨料和掺合料	695
(三) 水灰比	697
(四) 减水剂	698
(五) 耐火混凝土品种及适用范围	698
(六) 常用耐火混凝土配比组成和热工性能	699
五、其它耐火材料	711
(一) 耐火纤维	711
(二) 耐火可塑料	713

第二节 隔热材料	715
一、隔热材料的主要性能	715
二、硅藻土质隔热材料	717
(一) 硅藻土粉	717
(二) 硅藻土质隔热砖	717
(三) 硅藻土质焙烧板	717
(四) 硅藻土石棉粉(鸡毛灰)	718
三、膨胀蛭石	718
四、膨胀珍珠岩制品	719
(一) 膨胀珍珠岩	719
(二) 普通硅酸盐水泥膨胀珍珠岩 制品	719
(三) 水玻璃膨胀珍珠岩制品	720
(四) 高铝水泥膨胀珍珠岩制品	721
(五) 磷酸铝膨胀珍珠岩制品	721
(六) 低钙铝酸盐水泥膨胀珍珠岩 制品	722
五、矿渣棉	723
六、岩棉制品	723
(一) 产品品种	723
(二) 岩棉制品的工作温度	724
(三) 岩棉制品规格及价格	724
(四) 岩棉制品主要技术性能指标	724
七、玻璃棉	725
八、石棉制品	725
(一) 石棉绳	725
(二) 石棉布	726
(三) 石棉板	726
(四) 磷酸镁石棉板、管	726
(五) 石棉粉制品	727
第三节 耐火泥、泥浆、涂料	728
一、耐火泥	728
(一) 粘土质耐火泥	728
(二) 高铝质耐火泥	728
(三) 硅质耐火泥	729
(四) 镁质耐火泥	729
(五) 粗缝糊	729
(六) 细缝糊	730
二、泥浆	731
(一) 砌筑工业炉所采用的泥浆	731
(二) 不同砖缝泥浆的用量	733
(三) 砌耐火混凝土预制块使用的 泥浆	733
三、涂料	734
第十一章 炉墙结构	737

第一节 耐火砖结构	737
一、砌砖炉墙	737
二、挂砖炉墙	739
三、拉砖炉墙	739
(一) 抓钉直接拉单块砖结构	739
(二) 垂直串砖结构	740
(三) 水平拉杆拉多块砖结构	742
第二节 耐火混凝土结构	742
一、概述	742
二、耐火混凝土衬里结构	743
(一) 带锚固钉的耐火混凝土结构	743
(二) 带锚固钉并挂以金属网耐火混 凝土结构	744
(三) 带波纹状铁丝网和链式钢丝网 结构	744
(四) 带龟甲网的耐热耐磨衬里	744
(五) 做成预制块堆砌	745
(六) 固定耐火混凝土的结构型式	745
三、轻质耐火混凝土衬里膨胀缝设计	751
第三节 耐火纤维结构	753
一、概述	753
二、结构型式	753
(一) 层衬式	753
(二) 叠砌法	754
三、粘贴剂与锚固件	755
(一) 粘贴剂	755
(二) 锚固件的材质选用与结构型式	755
第四节 炉顶结构	756
一、拱顶	756
二、吊挂炉顶	759
(一) 通过吊砖架吊挂异型砖炉顶	765
(二) 用耐火砖做吊件的炉顶	765
(三) 串砖结构炉顶	765
第五节 炉底结构	765
第六节 烟道结构	766
一、烟道布置	766
二、烟道结构	766
(一) 烟道的设计	766
(二) 烟道断面系列	767
(三) 烟道结构	767
(四) 人孔砌砖	770
(五) 闸板砌筑	770
第七节 砌体尺寸的确定	770
一、砌砖尺寸	770
二、异型砖的设计	771

三、拱顶配砖计算	771
第八节 施工提要	772
一、耐火砖施工提要	772
二、耐火混凝土衬里施工提要	773
三、密封层与保温层施工提要	773
第九节 烘炉	774
一、烘炉目的	774
二、一般烘炉步骤	774
三、烘炉曲线实例	774
第十二章 工业炉常用零部件	777
第一节 看火孔	777
一、下翻式看火孔	777
二、上翻式看火孔	778
三、上翻式看火孔(带小孔)	778
四、侧开式看火孔120×240(带视镜)	779
五、侧开式看火孔120×240(带小孔)	779
六、侧移式看火孔120×240	780
七、圆形看火孔 $\phi 100$	781
八、插板看火孔120×240	781
九、方形翻板看火孔100×100	782
十、炉底球形看火孔 $\phi 100$	782
十一、炉底圆形看火孔 $\phi 100$	783
十二、锅炉测量看火门孔JB2193-77	784
十三、锅炉I型看火门JB2193-77	784
十四、锅炉II型看火门JB2193-77	785
第二节 炉用人孔	786
一、炉用人孔500×500	786
二、炉用人孔500×500(带孔口密封垫)	786
三、炉用人孔600×600	787
四、炉用人孔600×600(带孔口密封垫)	787
五、旋柄炉用人孔500×500(带孔口密封垫)	788
六、炉用人孔460×920(带孔口密封垫)	788
七、炉顶人孔 $\phi 450$	789
八、炉底人孔 $\phi 450$	790
九、锅炉用人孔I型(带加强圈)JB2190-77	791
十、锅炉用人孔II型(不带铰链)JB2190-77	791
十一、锅炉用人孔III型(带铰链)JB2190-77	792
十二、锅炉用椭圆炉门JB2193-77	793

十三、锅炉用平衡炉门JB2193-77	794
十四、锅炉用拱型炉门JB2193-77	795
十五、锅炉用检查门I型JB2193-77	796
十六、锅炉用检查门II型JB2193-77	796
第三节 手孔	797
一、 $p > 16 \sim 39 \text{ kgf/cm}^2$ 80×94 无加强圈锅炉手孔	797
二、 $p > 16 \sim 39 \text{ kgf/cm}^2$ 88×102 无加强圈锅炉手孔	798
三、 $p > 16 \sim 39 \text{ kgf/cm}^2$ 88×102 带加强圈锅炉手孔	799
四、 $p \leq 16 \text{ kgf/cm}^2$ 88×102 无加强圈锅炉手孔	800
五、 $p \leq 16 \text{ kgf/cm}^2$ 88×102 带加强圈锅炉手孔	801
第四节 防爆门	801
一、防爆门300×300、400×400、500×500	801
二、防爆门450×450(带孔口密封垫)	802
三、炉顶防爆门 $\phi 400$	803
四、炉顶防爆门 $\phi 400$ (带弹簧)	803
五、锅炉防爆门JB2193-77	804
第五节 烟囱挡板	804
一、单轴烟囱挡板	804
二、双轴烟囱挡板	805
第六节 烟道门及蝶阀	806
一、铸铁烟道闸门装置	806
二、锅炉用I型烟道门JB2193-77	807
三、锅炉用II型烟道门JB2193-77	808
四、方形蝶阀	809
五、单轴方形蝶阀	810
六、二轴方形蝶阀	810
七、四轴方形蝶阀	811
八、五轴方形蝶阀	811
第七节 卷扬机	812
一、75kg手摇卷扬机	812
二、250kg手摇卷扬机	813
三、800kg手摇卷扬机	814

附录

附录一 计量单位	815
一、法定计量单位	815
附表1-1 国际单位制的基本单位	815
附表1-2 国际单位制的辅助单位	815
附表1-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位	815

附表1-4 国家选定的非国际单位制单位	816
附表1-5 用于构成十进倍数和分数量单位的词头	816
附表1-6 常用的SI导出单位	817
二、单位换算表	817
附表1-7 长度单位换算	817
附表1-8 面积单位换算	817
附表1-9 体积和容积单位换算	817
附表1-10 质量和重量单位换算	817
附表1-11 力单位换算	818
附表1-12 密度和重度单位换算	818
附表1-13 比重、波美度和API度对照	818
附表1-14 压力单位换算	819
附表1-15 体积流量单位换算	819
附表1-16 质量流量单位换算	819
附表1-17 动力粘度(粘度)单位换算	820
附表1-18 运动粘度单位换算	820
附表1-19 功、能和热量单位换算	820
附表1-20 功率单位换算	821
附表1-21 质量比热单位换算	821
附表1-22 导热系数单位换算	821
附表1-23 传热系数单位换算	821
附表1-24 热强度单位换算	822
附表1-25 热焓单位换算	822
附表1-26 速度单位换算	822
附表1-27 重量流速单位换算	822
附表1-28 比容单位换算	823
附表1-29 体积比热单位换算	823
附表1-30 表面张力单位换算	823
附表1-31 温度换算公式	823
附表1-32 $^{\circ}\text{C}$ 与 $^{\circ}\text{F}$ 换算	824
附录二 某些物料的数据	827
一、熔盐混合物	827
附表2-1 熔盐混合物的物理参数	827
附表2-2 亚硝酸盐及硝酸盐混合物的熔点	828
附表2-3 有机高温载热体的物性	829
二、熔融金属	830

附表2-4 熔融金属的物性	830
三、常用材料的重度、导热系数、比热	831
附表2-5 常用材料的重度、导热系数、比热	831
附录三 工业“三废”排放标准(试行) GBJ4-73	832
一、废气排放标准	832
附表3-1 十三类有害物质的排放标准	832
二、废水排放标准	834
附表3-2 工业“废水”最高容许排放浓度(第一类)	834
附表3-3 工业“废水”最高容许排放浓度(第二类)	834
三、废渣排放标准	834
附录四 区域法计算辐射传热及其应用实例	835
第一节 概述	835
第二节 区域法计算辐射传热的数学模型	836
一、直接交换面积及其计算	836
(一)定义及性质	836
(二)计算公式	837
二、总交换面积及其计算	839
三、定向通量面积及其计算	841
四、温度分布计算概述	844
第三节 计算实例	845
一、烃类蒸汽转化炉	845
(一)管内化学反应动力学、传热、压力降微分方程组的建立	845
(二)管外传热计算中的几个问题	847
(三)计算步骤与框图说明	847
(四)计算结果与工厂实测数据的比较	848
二、乙烷裂解制乙烯炉	849
(一)管内微分方程组的建立	849
(二)计算及说明	851
(三)计算步骤	852
(四)计算结果	854
三、圆筒形蒸汽过热炉	855

第一章 化学工业炉总论

第一节 概 述

化学工业炉是化工生产过程中的高温反应设备和高温加热设备。

化工生产过程中很多反应需要在特定条件下进行。例如：乙烯生产装置中的裂解炉将石脑油或轻柴油和一定比例的蒸汽在炉管内从600℃迅速加热到800℃左右，在很短的时间内完成裂解反应。再如以天然气为原料采用蒸汽转化法制原料气的大型合成氨厂，其一段转化炉的转化炉管的管内压力为20~35kgf/cm²，管内物料在750℃至850℃进行反应。重油气化炉的反应温度高达1400℃。粉煤气化炉的气化区域亦多半处于高温。

另外，在化工生产过程中有利用高温烟气进行焙烧、加热与干燥的炉子；有使用热载体加热的设备，这些热载体在专用的炉子里加热以循环使用；还有专门处理化工生产排出的有毒废料的焚烧炉装置。总之，随着化学工业的发展，化学工业炉的种类、型式日益繁多，某些炉子往往成为该项技术的关键。

一般化学工业炉的设计，主要有工艺计算和结构设计两部分工作。工艺计算部分的内容和目的是根据工艺要求，确定合适的炉型方案，进行燃料燃烧计算，炉子系统热平衡计算以确定燃料消耗量；进行辐射室传热计算，以布置与确定辐射传热面积；作炉子系统烟气侧的流动阻力和烟囱计算以确定烟气抽引装置。必要时亦须对工艺物料的阻力进行核算。结构设计的主要内容是根据炉型方案进行总体布置，并确定炉子燃烧装置、炉用附件等结构。对于在加压下工作的工业炉，其炉壳要求按压力容器的要求进行设计。

第二节 常见炉型

在化学工业炉中加热操作是最广泛应用的操作之一。因为对某些反应加热是加速化学反应的重要手段。其所需要的热能，可以由各种不同的热源，用各种不同方法获得。加热方法分为直接加热和间接加热两大类。间接加热的热源又是靠直接加热得到的，所以说直接加热是基本的。直接加热的炉子按所用燃料的不同，可分为固体燃料炉、液体燃料炉，气体燃料炉和电炉等四种。按燃料燃烧所需空气的供给方法，可分为自然通风和强制通风两种。按操作方法可分为间歇式炉和连续式炉两种。

在化工生产中工业炉的种类很多，如水煤气发生炉、重油气化炉、裂解炉、合成氨生产一段转化炉、合成氨生产二段转化炉、电石炉、石灰窑、硫铁矿沸腾焙烧炉、碎煤加压气化炉、热载体炉、圆筒炉、焚烧炉、电阻炉、热风干燥炉和回转煅烧窑等。

一、水煤气发生炉

水煤气发生炉是用水蒸汽为气化剂对无烟煤或焦炭进行气化制取合成氨原料气的炉子。目前是我国中型合成氨厂广泛采用的是直径3m的煤气发生炉，炉膛高约5m，底至顶高约10m，横断面积约7m²。其构造详见图1-1。若以粒度20至30mm的晋城无烟煤为原料，可产生