

换热器最新设计



Gaohuanreqi 汤富生 编著

错换热器

安徽科学技术出版社

铝 换 热 器

汤富生 编著



安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

钎换热器/汤富生编著. —合肥:安徽科学技术出版社,2008.5

ISBN 978-7-5337-4035-1

I. 钎… II. 汤… III. 钎-换热器 IV. TQ051.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 033827 号

钎换热器

汤富生 编著

出 版 人:朱智润

责任编辑:刘三珊 文字编辑:沙莹

封面设计:朱婧

出版发行:安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场,邮编:230071)

电 话:(0551)3533330

网 址:www.ahstp.net

E-mail:yougoubu@sina.com

经 销:新华书店

排 版:安徽事达科技贸易有限公司

印 刷:合肥中德印刷培训中心印刷厂

开 本:850×1168 1/32

印 张:12.625

字 数:320 千

版 次:2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

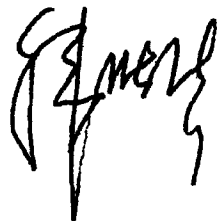
定 价:48.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

序

热交换设备是伴随着石油化学工业的发展应运而生的行业重要设备,为此世界各个工业国家都有专门的换热器设计、制造标准和规范。例如:我们国家的 GB 151—1999《管壳式换热器》、JB/T 4751—2003《螺旋板式换热器》等。钎换热器在我国石油、化工行业的设计、制造和使用已经有许多年的历史,但设计、制造方面尚没有专门的行业标准和国家标准规范,使得从事这方面工作的许多科技人员没有可以使用的专门资料。目前主要还是按照国外标准或参照国外标准来进行设计,这对钎换热器在我国的使用和发展十分不利。为此,合肥通用机械研究院的汤富生教授,根据目前钎换热器在国内外的发展和使用现状,编写了本书。

全书资料翔实,内容丰富,不失为本行业广大科技工作者使用的一本指导书。该书的出版对我们化工设备行业和从事本行业的广大科技工作者来说,确实是件可喜可贺的事情。



前 言

钎换热器在我国应用、设计和制造,是我国工业发展和换热器行业欣欣向荣的标志。

节能是国策。“十一五”期间,国家节能目标为 20%,这需要各行各业的努力。

广泛应用于工业和有关领域的换热器,既是耗能大户,也是节能大户,可以说传热过程与每一项热工节能技术都有密切关系。应用中的钎换热器,就是体现了落实我国四大节能政策,通过更换材料和提高科技水平,促进节能降耗的高效产品,钎换热器的传热和防腐效果好,使用寿命长,经济效益显著。

在国外,钎换热器最早的应用之一是冷却盐酸,至 20 世纪 50~60 年代,钎换热器就被成功应用在利用硫酸生产过氧化氢(H_2O_2)的工艺中。用管壳式钎换热器取代石墨换热器,生产丙烯酸薄膜和纤维等的例子,数不胜数。

实际上,我国从 20 世纪 90 年代就开始研制和应用钎换热器。随着工业的需要和经济的发展,各种新型、高效节能换热器将逐步取代现有的常规产品,预计钎换热器今后会有更广阔的应用前景。

钎材价格昂贵,且钎换热器大都是用在高温、高压、耐腐蚀的苛刻环境中,这是一般换热器根本无法胜任的。这些特殊情况更促使技术人员考虑,如何设计高效、节能的钎换热器,已成为摆在广大换热器设计人员面前的一项重要课题。

换热器的设计计算复杂,但最重要的是传热系数和压降的计算。前者是反映传热过程强弱的指标,而压降涉及整个系统的运行情况,所以影响这两个参数的因素多,与流体的性质、流动情况、材料、形状和尺寸等因素都有关,就是在确定的工况下,仍然存在多个不确定的

数据,如壁温,即热交换面的温度测量,流量分布不均,气体或固体的积聚、结垢等,甚至在设计计算时,选用不同的关系式或准则式,都会产生不同的计算结果,出现不小的误差,这对于设计价格昂贵的铝换热器来说是必须避免的。

本书在简要地介绍了铝的物理(机械)、化学性质之后,从实际出发,将铝换热器最基本的设计概念和准确可靠的实际热工数据,以列表和图示方式,介绍了各类换热器工况、 K 、 ΔP 与介质流速的变化关系,并将其汇成一册,其目的也正是为适应现代化工程建设的需要,为设计、制造和使用铝换热器提供一些基本参考资料。书中力求反映当前国内及国际的先进技术水平,以使设计达到优化设计、运行达到最大的经济效益。

铝换热器的应用将提高我国换热器,尤其是防腐换热器行业的整体技术水平。

设计创新需要宽松的环境和条件。先进正确的设计思想,准确可靠的热工数据,是成功设计的必备条件。只有好的设计,才能有好的产品,才能有助于提高产品的市场竞争力,有助于产品加入国际市场。怀着这一愿望,在各方面的大力支持下,编者完成了本书的编写工作。这是我国第一部关于铝换热器设计、制造和应用的专题论著,内容丰富,实用性强,对铝换热器的工程设计、制造、使用都有很好的指导作用;对于设计、使用其他类型换热器,也是一本较好的参考书,促使产品设计由过去的粗大重型向精小轻型的过渡工作大大向前跨进一步,实现产品运行成本低、节能降耗的目标;对科研和教学工作也有参考价值。

在本书编写、审校和出版过程中,得到了多方面的大力协助和指导。首先,特别感谢中核集团西安核设备有限公司(原国营524厂)韩新华董事长,是他的大力支持,并在百忙中为本书作序、签名,才使编者有了出版的决心和条件;特别感谢潘玉涛总经理在繁忙的工作中抽空审验书稿、详细指导;编者有幸在西安核设备有限公司、在以李安长任项目总负责人的直接领导下,参与了铝换热器的制作,在他

前 言

的技术指导和全方位的关注下才有了本书；公司全资赞助本书的出版。一滴水见太阳，他们共建和谐的精神和对国家民族工业的责任感、振兴民族工业的决心堪称楷模。编者在此谨致以深深的谢意！

编者所在的单位是个和谐的集体，编者热爱单位，热爱所从事的专业，情系换热器，倾其一生为之服务。本书实际上是编者多年的研究实践，更是集体智慧的结晶，领导和同志们的大力支持和合作是成书的内因。他们为我国换热器技术和发展孜孜追求、努力拼搏奉献，其事迹感人，恕不一一署名，让编者永存感激！

本书在出版过程中，得到了安徽科学技术出版社的大力支持，在此一并表示由衷的感谢！

由于时间仓促，水平有限。书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 锆及其合金的性能	1
1.1 概况	1
1.2 物理化学性能	2
1.3 锆的耐腐蚀性能	5
1.3.1 盐酸	6
1.3.2 硫酸	7
1.3.3 磷酸	8
1.3.4 硝酸	9
1.3.5 氢氟酸	11
1.3.6 碱	11
1.3.7 自然水及污水	12
1.3.8 盐	12
1.3.9 液态金属	12
1.3.10 有机物和有机酸	13
1.4 锆的机械工艺性能	19
1.4.1 一般性能	19
1.4.2 工艺特性	22
第 2 章 锆换热器设计	30
2.1 概况	30
2.2 管壳式锆换热器	34
2.2.1 滑油冷却器	38
2.2.2 列管式换热器(2.8)	41
2.2.3 列管式换热器(13.75)	44

铝 换 热 器

2.2.4	螺旋管换热器	46
2.2.5	波纹管换热器	48
2.2.6	列管式换热器(1.3)	54
2.2.7	BH219 汽水波纹管换热器	56
2.2.8	内凹波纹管换热器	60
2.2.9	BH219 波纹管换热器	66
2.2.10	固定管板换热器	71
2.2.11	DHL3-11/0.63(两管程)换热器	75
2.2.12	GLL3-6/1.0 型列管式油冷却器	78
2.2.13	套管换热器(0.2254)	81
2.2.14	GLL3-6/1.0 型列管式油冷却器	85
2.2.15	DHC3-11/0.63(两管程)叠片式换热器	88
2.2.16	套管换热器(0.1492)	91
2.2.17	套管换热器(0.1987)	95
2.2.18	列管式换热器(8.80)	98
2.2.19	光管滑油冷却器	100
2.2.20	针翅管滑油冷却器	102
2.2.21	管壳式换热器(0.014482)	104
2.2.22	管壳式换热器(7)	106
2.2.23	管壳式换热器(冷却器)	110
2.2.24	管壳式换热器(3.5)	114
2.2.25	U形管换热器	118
2.3	板式铝换热器	123
2.3.1	板式换热器(0.115)	126
2.3.2	板式换热器(0.23)	130
2.3.3	板式换热器(0.28)	132
2.3.4	板式换热器(0.41)	137
2.3.5	板式换热器(0.6)	140
2.3.6	板式换热器(0.623)	144

目 录

2.3.7	板式换热器(0.623)	148
2.3.8	板式换热器(0.64)	153
2.3.9	板式换热器(0.8)	156
2.3.10	板式换热器(0.85)	159
2.3.11	板式换热器(0.85)	164
2.3.12	铝钎焊板式换热器(1.118)	168
2.3.13	铝钎焊板式换热器(0.504)	169
2.3.14	不锈钢钎焊板式换热器	173
2.3.15	钎焊板式换热器(0.988)	175
2.3.16	钎焊板式换热器(1)	177
2.3.17	全钎焊不锈钢板式换热器	181
2.3.18	钎焊板式换热器(0.30)	187
2.3.19	钎焊板式换热器(0.10)	189
2.3.20	钎焊板式换热器(0.216)	192
2.4	螺旋板式钎换热器	194
2.4.1	不可拆螺旋板式换热器(7.4)	200
2.4.2	不可拆螺旋板式换热器(6.75)	202
2.5	其他类型钎换热器	204
2.5.1	板壳式换热器	204
2.5.2	空气冷却器	205
2.5.3	空气加热器	206
2.5.4	椭圆管油散热器	209
2.5.5	油散热器	212
2.5.6	翅片管式散热器	215
2.5.7	板翅式滑油冷却器(2.2)	217
2.5.8	板翅式滑油冷却器(1.232)	220
2.5.9	板翅式滑油冷却器(2.0)	222
2.5.10	板翅式换热器(6.20)	225
2.5.11	油冷却器	232

铝 换 热 器

2.5.12	光管、螺旋管换热器	236
2.5.13	螺旋管换热器	240
2.5.14	油散热器	242
2.5.15	水散热器	243
2.5.16	椭圆管油散热器	245
2.5.17	滑油散热器	250
2.5.18	空冷器(2.06)	251
2.5.19	板翅式换热器(18.93)	253
2.5.20	板翅式换热器(19.88)	257
2.5.21	椭圆高频焊螺旋翅片管换热器	260
2.5.22	空冷器(3.26)	264
第3章 铝换热器制造		268
3.1	材料	268
3.1.1	铝制棒材和线材的牌号、状态、规格	268
3.1.2	铝管材	271
3.1.3	铝铸锭	274
3.2	焊接	277
3.2.1	铝材焊接的特点	277
3.2.2	铝材焊接的主要问题	277
3.2.3	焊接设计	278
3.2.4	焊接材料	279
3.2.5	焊接工艺及操作	283
3.2.6	常用焊接方法	292
3.3	表面加工和处理	299
3.3.1	酸洗	300
3.3.2	阳极氧化	301
3.3.3	热压处理成膜	302
3.3.4	在空气中形成膜	302

目 录

3.3.5 电化学保护	302
3.3.6 化学抛光	303
第4章 铝换热器检验	304
4.1 机械性能和制造质量检验	304
4.2 铝换热器热工性能检验	307
4.3 铝换热器产品检验规范	310
4.3.1 管壳式铝换热器产品检验规范	310
4.3.2 板式铝换热器产品检验规范	312
4.3.3 螺旋板式铝换热器产品检验规范	313
4.3.4 铝制空气冷却器、铝制空气加热器检验规范	315
4.3.5 铝制油冷器检验规范	317
4.3.6 铝制船用热交换器检验规范	318
4.3.7 铝制制冷用板式换热器、铝制冷凝器、铝制蒸发器检验 规范	320
4.3.8 铝制板翅式换热器检验规范	322
4.3.9 铝制盘管检验规范	323
4.3.10 铝制中冷器、铝制散热器检验规范	325
4.3.11 铝制换热管检验规范	327
4.3.12 通用机械辅机铝制换热器传热元件检验规范	328
第5章 健康、安全、环保	330
5.1 健康	330
5.2 安全	331
5.3 环保	333
5.3.1 废铝切屑的回收	333
5.3.2 安全操作,消除隐患	335
5.3.3 预防铁污染	336

第 6 章 铝换热器的应用与发展	338
6.1 铝换热器的应用	338
6.2 今后发展趋势	341
6.2.1 自主创新,制订标准,规范行业	341
6.2.2 不该用铝制换热器就坚决不要用	347
6.2.3 经济分析	347
6.2.4 铝制换热器将提升换热器应用的整体水平	348
6.2.5 将铝制换热器做成精品	349
6.2.6 开发铝制换热器新产品,扩大应用范围,为节能做努力	351
附录	353
附录 A 常用法定计量单位及其换算	353
附录 B 物性数据	357
附录 C 物质的导热系数(热导率).....	373
附录 D JB/T 10379—2002《换热器热工性能和流体阻力 特性通用测定方法》	375
参考文献	388

第 1 章 锆及其合金的性能

1.1 概 况

锆 zirconium, 化学符号 Zr, 原子序数 40, 原子量 91.224, 属周期系 IVB 族。

1789 年, 德国化学家 M. H. 克拉普罗斯 (Klaproth) 在锆石中发现锆的氧化物, 并根据锆石的英文名命名。1824 年, 瑞典化学家 J. J. 贝采利乌斯 (Berzelius) 用金属钾还原氟化锆酸钾, 首次制出非纯金属锆。1925 年, 荷兰科学家阿克 (Van Arkel) 和德博尔 (de Boer) 通过使用分解碘化物的方法制出第一块高纯度的、有延展性的块状金属锆。1946 年, 美国 Albany Oregon 矿物局研制出了工业用锆的化合物还原法。

锆在地壳中的含量并不稀少, 但分布非常分散。锆的主要矿源是锆英石和斜锆石, 锆英石分布最广, 锆含量最多, 是一种理论上含有 67.2% ZrO_2 、38.2% SiO_2 的, 实质上是化学式为 $ZrSiO_4$ 的正硅酸盐。斜锆石不如锆英石分布广, 斜锆石差不多是纯净的二氧化锆。

我国是世界上锆资源最丰富的国家之一, 北起辽东半岛、南至北部湾的广西沿海地区及海南岛, 从东海之滨到云南、内蒙古, 均分布有锆矿。

我国发现的锆矿主要是岩矿、砂矿和混合矿。其中砂矿主要集中在广东、海南、广西和山东, 而四川、云南主要是岩矿, 其他省份如湖南、湖北、安徽、福建、江西、辽宁等省均有锆混合矿。

我国锆矿不少是属于富矿, 品位高, 矿石粒度均匀, 含泥量少, 是易选矿, 开采条件好。2000 年出版的《矿产资源综合利用手册》一书

中,对我国铅资源储量做了阐述,指出我国已发现铅矿床产地近百处。这样丰富的铅资源,为我国铅工业和铅换热器的设计、制造及应用提供了可靠的物质保证,有着广阔的发展前景。

1.2 物理化学性能

铅为银灰色金属,外观似钢,有光泽,熔点 1 852 °C,沸点 4 377 °C,密度 6 490 kg/m³。天然铅有 5 种稳定的同位素:铅 90、铅 91、铅 92、铅 94、铅 96,其中铅 90 含量最大。

铅的物理性能列于表 1-1。

表 1-1 铅的物理性能

序号	性能名称	性能数据
1	原子序数	40
2	原子量	91.224
3	原子半径(nm)	0.1452
4	离子半径(4价)(nm)	0.074
5	电子构型	1S ² 2S ² 2P ⁶ 3S ² 3P ⁶ 3d ¹⁰ 4S ² 4P ⁶ 4d ² 5S ²
6	密度(kg/m ³)	6490
7	热中子捕获截面(m ²)	(0.18±0.02)×10 ⁻²⁸
8	同素异态转变温度(°C)	865
9	晶格参数(nm)	
	α型密排六方晶系 β型体心六方晶系	a=0.32312,c=0.51477 a=0.3609
10	熔点(°C)	1852±10
11	沸点(°C)	4377
12	熔化热(kJ/kg)	252
13	蒸发热(kJ/kg)	6524
14	质量热容[kJ/(kg·K)]	
	25~100 °C 1000~1500 °C	276 473

续表

序号	性能名称	性能数据
15	热导率[W/(m·K)]	
	24℃	5.86×10^{-3}
	100℃	5.67×10^{-3}
	300℃	5.19×10^{-3}
16	线膨胀系数(K ⁻¹)	5.8×10^{-6}
17	电化当量(4价)[kg/(A·h)]	8.507×10^{-4}
18	电阻率(室温)(Ω·m)	4.0×10^{-7}
19	电阻率温度数(K ⁻¹)	4.4×10^{-3}
20	超导性状态转变温度(K)	0.7
21	高纯金属的力学性能 (退火棒, 20℃)	
	弹性系数(kg/m ²)	9.82×10^{10}
	硬度 HB	64~67
22	抗拉强度极限(MPa)	$(2.3 \sim 2.5) \times 10^2$
23	屈服强度(MPa)	2.1×10^2
24	杨氏模量(MPa)	9.39×10^2
25	泊松比(环境温度)	0.34
26	剪切模量(MPa)	3.48×10^4

在室温下,锆在空气中比较稳定,同空气中的几种气体完全不反应,其表面能无限长久地保持光泽,化学性质不活泼。

但在含氧环境中,锆与氧有很高的亲和力,表面上会生成附着力很强的致密氧化膜。在300℃以下,这层膜能自愈以保护基体金属免受化学或机械破坏。在氧的压力为1.0 kPa时,在200℃下,经过2小时氧化,锆氧化膜的厚度为 1.50×10^{-8} m,425℃时厚度为 5.00×10^{-7} m。氧在锆中的溶解度最高可达60%(摩尔分数)。氧的压力在1.3~26.7 kPa时,按抛物线方程计算的锆氧化活化能为134 kJ/mol,锆与氧400℃时迅速发生反应,在650~700℃时可发生强烈反应,当温度超过800℃时,则迅速生成ZrO₂。在静止状态下的空气中,锆的氧化速率为 1.08×10^{-2} kg/(m²·h);950℃时为

$7.07 \times 10^{-2} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。锆在高温下除与氧氮结合形成稳定的化合物外,还可与 CO_2 、水蒸气发生反应。

在温度为 $200 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,锆容易与氟、氯、溴、碘等卤素相互作用发生反应,分别生成 ZrCl_4 、 ZrF_4 、 ZrBr_4 和 ZrI_4 ,所形成的卤化物具有挥发性。在 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,锆和氢反应生成氢化物。

在温度超过 $300 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,锆不受大多数气体(如 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 C_3H_8 、 N_2 、蒸汽)的侵蚀。

在 $360 \text{ }^\circ\text{C}$ 的热水和蒸汽中,锆可以容许高达 350×10^{-6} 的 Cl^- 和 I^- 、 100×10^{-6} 的 F^- 和 $10^4 \times 10^{-6}$ 的 SO_4^{2-} 存在,而其耐腐蚀性不受影响。当温度为 $425 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,金属锆可以在空气中暴露很长时间而不受明显腐蚀。

在温度超过 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,锆在空气中很容易氧化;在温度高达约 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,锆在氨气中是稳定的。

锆在 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 下的干燥 Cl_2 中耐腐蚀,但在湿的 Cl_2 中则以 200 mil/a ($1 \text{ mil} = 0.0254 \text{ mm}$) 的速率受到腐蚀。在饱和的氯水中,锆的腐蚀率低于 1 mil/a 。在热的($400 \text{ }^\circ\text{C}$)气体卤酸环境中锆会水化。

粉末状的锆容易在空气中燃烧,细的锆丝、机加工的锆屑均可用火柴点燃,因此,必须注意存放安全。

综上所述,锆随温度变化与气体的反应见表 1-2。

表 1-2 锆同气体的反应温度

温度($^\circ\text{C}$)	反应情况
在室温下	锆在空气中比较稳定,化学性质不活泼
50	1. 在干燥的氯气中耐腐蚀; 2. 在湿的氯气中受到腐蚀
$200 \sim 400$	与所有卤素发生反应,生成 ZrCl_4 、 ZrF_4 、 ZrBr_4 、 ZrI_4
300	1. 在 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,锆与氢反应生成氢化物; 2. 与 H_2O (蒸汽)发生反应,生成 ZrH_4 、 ZrO_2 和 ZrH_4 的混合物
400	1. 与氧 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 时迅速发生反应; 2. 在气体卤酸环境中会迅速发生反应; 3. 同氮 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 时反应缓慢