

可控气氛热处理

—应用与设计—

下 册

《可控气氛热处理》编写组编

机械工业出版社

可控气氛热处理

——应用与设计——

下 册

《可控气氛热处理》编写组编

机械工业出版社



本书从可控气氛原理出发,系统地讲述了可控气氛的种类、选择及制备方法;介绍了发生器、工作炉、仪表及车间设计方面的资料。全书共十六章,分上、下两册出版。上册主要介绍原理和各种气氛;下册主要介绍工作炉和车间设计。

读者对象:热处理工作者、工厂设计人员及有关院校的教师和学生。

可控气氛热处理

——应用与设计——

下 册

《可控气氛热处理》编写组 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $22 \frac{3}{4}$ · 字数 562 千字

1982年11月北京第一版·1982年11月北京第一次印刷

印数 0,001—4,200 · 定价 2.35 元

科技新书目: 37-119

统一书号: 15033·5238

前 言

可控气氛热处理是防止金属加热时氧化、脱碳、实现可控化学热处理，提高零件使用寿命的有效方法。本书阐述了国内外应用可控气氛热处理方面的经验和成果，系统地介绍了可控气氛的原理、分类、选择、原料、各种气氛的制备方法以及发生器、各种类型的工作炉、仪表及有关车间设计方面的资料。

在编写过程中，得到了很多单位和同志们们的热情支持，提供了许多宝贵的意见和资料，谨此表示深切的感谢。鉴于编写人员的水平所限，本书可能存在不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

本书由第一机械工业部设计总局组织编写，参加编写的单位分工是：

第一、二、五、十三、十四章 农业机械部第三设计研究院；

第三章 农业机械部第二设计研究院；

第四、六、七、八、十、十一、十二、十六章 农业机械部第一设计研究院

第九章 第六机械工业部第九设计研究院；

第十五章 农业机械部第三设计研究院、第一设计研究院。

本书主编：

陆载厚 吴启明

编写人员：

农业机械部第三设计研究院 陆载厚、顾百揆

农业机械部第二设计研究院 朱永远

第六机械工业部第九设计研究院 田润生

农业机械部第一设计研究院 吴启明、张志坚、徐道新、于衍铸、王允莹

目 录

第十章 气体净化	1	二、冷轧碳钢和弹簧钢带光亮退火	76
第一节 概述	7	三、冷轧硅钢带光亮退火	77
第二节 除水	7	第十二章 可控气氛热处理炉	79
一、化学法	7	第一节 分类和特点	79
二、冷凝法	7	一、分类	79
三、吸附法	20	二、特点	79
第三节 除二氧化碳	38	第二节 周期式炉	82
一、乙醇胺法	38	一、箱式电阻炉	82
二、分子筛吸附法	40	二、密封箱式炉	82
第四节 除氧	42	三、立式可控气氛多用炉	106
第五节 除硫	42	四、井式炉	108
一、干法脱硫	42	五、回转筒形气体渗碳炉	110
二、湿法脱硫	46	第三节 连续式炉	113
第六节 净化流程	48	一、概述	113
第十一章 可控气氛热处理工艺	53	二、振底炉	114
第一节 可控气氛渗碳	53	三、推杆炉和推杆炉自动线	143
一、概述	53	四、鼓形炉	203
二、拖拉机齿轮渗碳	60	五、输送带炉	208
三、汽车零件渗碳	60	六、转底炉	214
四、石油牙轮钻零件渗碳	62	第四节 可控气氛热处理炉的安全操作	219
五、液压件渗碳	62	一、充分的准备工作	220
六、细纱机钢领渗碳	63	二、防爆	220
第二节 可控气氛氮氮共渗	63	第十三章 通用部件和材料	222
一、概述	63	第一节 气体输送、压缩和抽真空机械	222
二、汽车变速箱齿轮氮氮共渗	66	一、气体输送机械	222
三、自行车挡、碗碟氮共渗	67	二、气体压缩机	226
四、自行车链条氮氮共渗	67	三、真空泵	226
五、燃油泵零件氮氮共渗	68	第二节 阀件	228
第三节 可控气氛氮氮共渗	68	一、减压阀	228
一、原理	68	二、安全阀	230
二、工艺参数	69	三、电磁阀	230
三、氮氮共渗工艺的应用	71	四、止回阀	233
第四节 光亮淬火	72	五、电动和气动调节阀	234
一、钢球光亮淬火	72	第三节 抗渗碳砖	237
二、插齿机大齿轮洁净淬火	72	第四节 电热合金	238
三、滚丝模光亮淬火	73	一、电热合金的主要性能	238
四、油泵柱塞模光亮淬火	73	二、常用的铁铬铝电热合金重量、长度、电阻换算表	240
五、柴油机关件洁净淬火	73	三、电热元件的计算	241
六、弹簧垫圈洁净淬火	74	四、电热元件的绕制与焊接	243
七、喷油嘴偶件光亮淬火	74	五、电阻板涂抗渗碳釉层	244
八、手表零件光亮淬火	75	第五节 辐射管	246
第五节 光亮退火	75	一、概述	246
一、镀锌带钢光亮退火	75		

二、电热辐射管	246	一、原料气耗量的计算	300
三、燃气(燃油)辐射管	248	二、原料运输方式	302
第六节 防爆装置	253	三、原料储存周期和储量的确定	302
一、防爆膜	254	四、储罐的选定	303
二、杠杆式防爆盖	254	五、计算举例	303
三、沙封式防爆盖	254	第四节 供气方式和发生器容量的确定	304
四、弹簧式防爆盖	255	一、供气方式	304
第七节 光亮淬火油	255	二、发生器容量和台数的确定	305
第十四章 可控气氛的分析、测量与 控制	258	第五节 车间布置及其他	306
第一节 概述	258	一、总图位置	306
第二节 温度、压力和流量测量仪表	259	二、单台供气时的车间平面布置	307
一、温度测量仪表	259	三、采用可控气氛发生站的车间平面 布置	307
二、压力测量仪表	261	四、油冷却系统	307
三、转子流量计	263	五、土建、公用	310
第三节 可控气氛常用分析方法及仪表	269	第六节 车间可控气氛管道设计	311
一、钢箔法	269	一、基本原则及一般规定	311
二、奥氏分析法	270	二、管道水力计算	314
三、气相色谱分析法	271	三、管道材料及附件	314
四、露点测定法	272	第七节 液化石油气减压阀设计	316
五、红外线分析仪	279	第十六章 液化石油气站设计	318
六、氢分析仪	281	第一节 液化石油气站的工艺流程及其 设备	318
七、氧位(氧势)测定法	282	一、液化石油气站的工艺流程	318
第四节 可控气氛碳势自动控制原理及 仪表	284	二、主要设备选择	324
一、碳势自动控制系统的基本组成	284	第二节 液化石油气站的贮存规模和布置	342
二、几种常用控制方式	284	一、液化石油气站贮存规模的确定	342
三、KH-01 型红外线自动控制仪	287	二、液化石油气站布置	342
四、KH-02 型红外线自动控制仪	289	三、液化石油气站布置参考图	347
五、USL-21A 型氟化锂露点控制仪	289	第三节 液化石油气管道及附件	349
第五节 可控气氛的取样	292	一、管材的选择	349
一、取样的原则	292	二、管道的敷设	349
二、取样系统流程	293	三、管道的连接	351
三、取样系统常用部件	294	四、管道的水力计算	351
第十五章 车间设计	298	五、管道主要附件	353
第一节 概述	298	六、管道的试压和验收	358
第二节 工作炉炉型选择和耗气量的确定	298	第四节 液化石油气站的投产、安全注意 事项和措施	359
一、炉型选择	298	一、液化石油气站的投产	359
二、工作炉耗气量的确定	298	二、液化石油气的安全注意事项和措施	360
第三节 原料气耗量、储量和储罐的确定	300		

第十章 气体净化

第一节 概 述

有些热处理可控气氛在制备过程中需要进行净化,以使气氛中所含的某些成分及杂质降低到所需的含量范围内,从而保证用户对可控气氛的使用要求。

需要净化的成分一般有水分、二氧化碳、氧、硫及其化合物、碳黑等,这些成分是有害的杂质。氧、水分、二氧化碳都有强的氧化、脱碳性,硫及其化合物能使催化剂中毒、腐蚀管道及附件,碳黑则沾污工件、堵塞管道并影响碳势的控制。因此上述这些成分都必须限制在一定的含量内,具体数值依不同的气氛及其使用要求而定。

硫的化合物都是从原料中带来的。在制备吸热式气氛时,应对原料气进行脱硫。在制备放热式气氛,放热—吸热式气氛,制备氮气时,可在原料气状态脱硫,也可以在燃烧反应后脱硫。

普通放热式气氛经过除水和二氧化碳,便可制得净化放热式气氛,不仅适用于多种钢材的光亮热处理,还可用于渗碳、碳氮共渗的载体气,扩大了放热式气氛的应用范围。

氮分解气氛制备时则需除去残氮和水分。

氢气、工业氮气和其他惰性气体需要去除氧气、水分等。

木炭发生气一般只除去灰尘、炭黑即可。

城市煤气直接用作可控气氛时,需除水。发生炉煤气则需除去水分和二氧化碳,有时还需要脱硫。

第二节 除 水

气体的除水即为气体的干燥,干燥的方法大致有化学法、冷凝法、吸附法等。

在具体工艺流程中究竟应采用那一种方法,应视具体情况而定。一般采用吸附法或冷凝法,也可采用冷凝法和吸附法相结合的方法。

一、化学法

化学法常用的干燥剂有:无水氯化钙(CaCl_2)、无水苛性钠(NaOH)、无水苛性钾(KOH)、生石灰(CaO)、五氧化二磷(P_2O_5)和浓硫酸(H_2SO_4)等。这些化学干燥剂遇水能生成水化合物使气体获得干燥。多种化学吸附干燥剂的性能见表10-1所列。

化学法的干燥剂须经常更换,很不经济,在工业上用得较少。

二、冷凝法

冷凝法是利用冷源(水或冷冻水、制冷剂等)使气体中的水分冷却至饱和点、并析出水分的方法。

采用普通的冷却水,可以将气体干燥到露点 $5\sim 30^\circ\text{C}$ 之间。

表10-1 常用化学吸附干燥剂性能

吸附剂名称	分子式	每毫升吸附剂能 吸附水蒸气体积 (升)	气体干燥后 湿含量 (克/米 ³)	干燥气体的 露点温度 (°C)	再生方法
无水氯化钙	CaCl ₂	6.1~24.2	1.5	-14	200°C烘4小时
无水苛性钠	NaOH	2.3~8.9	0.85	-19	加热烘干
无水苛性钾	KOH	3.2~7.2	0.014	-58	加热烘干
生石灰	CaO	7.6~10.1	0.005	-64	加热烘干
五氧化二磷	P ₂ O ₅	—	0.00002	—	不再用
浓硫酸	H ₂ SO ₄	—	0.004	-66	不再用

如果用冰盐水或氟利昂等制冷剂，则可将气体干燥到露点 0 ~ 5 °C。

将气体进行加压，可促使水分冷凝析出。气体在不同压力和温度下的饱和含湿量，及在相同温度下，随着压力增加，气体中饱和含湿量变化值（如在 20°C 时，气体绝对压力 6 公斤力/厘米² 比 1 公斤力/厘米² 压力的含湿量可减少 5 倍多）如表 10-2 所列。

表10-2 不同压力和温度下气体饱和含湿量（克/米³）

气体温度(°C)	气 体 压 力 (公斤力/厘米 ²)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-10	2.14	1.07	0.71	0.54	0.48	0.36	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19
-5	3.24	1.62	1.08	0.81	0.65	0.54	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29
0	4.84	2.42	1.61	1.21	0.97	0.81	0.69	0.60	0.54	0.48	0.44
5	6.80	3.40	2.26	1.70	1.38	1.13	0.97	0.85	0.76	0.68	0.62
10	9.40	4.70	3.14	2.35	1.88	1.57	1.34	1.18	1.04	0.94	0.86
15	12.80	6.40	4.28	3.20	2.56	2.13	1.83	1.60	1.42	1.28	1.16
20	17.30	8.65	5.76	4.33	3.46	2.88	2.47	2.16	1.92	1.73	1.57
25	23.0	11.50	7.67	5.75	4.60	3.84	3.28	2.88	2.55	2.30	2.09
30	30.4	15.20	10.1	7.60	6.08	5.06	4.34	3.80	3.38	3.04	2.76
35	39.6	19.80	13.2	9.90	7.92	6.60	5.65	4.95	4.40	3.96	3.60
40	51.0	25.50	17.0	12.8	10.2	8.50	7.28	6.38	5.67	5.10	4.64
45	65.0	32.50	21.6	16.3	13.0	10.8	9.28	8.13	7.22	6.50	5.91

(一) 水冷干燥

利用水作冷源的气体冷却器是最常见的换热设备，根据气体与水的热交换形式，一般又可分为间接式和直接接触水冷却等几种。

1. 间接式冷却器

在间接式冷却器中，气体和冷却水在不同的管道内或管间的夹层之间流动，通过管壁发生热交换，使气体冷却下来。

(1) 结构形式

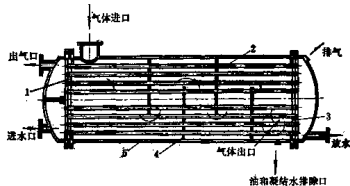


图10-1 列管式冷却器结构示意图

1—固定管板 2—冷却水管 3—活动管板 4—隔板 5—外壳

常用的间接式冷却器的结构形式有列管式、散热片式、套管式、蛇管式以及板式等。

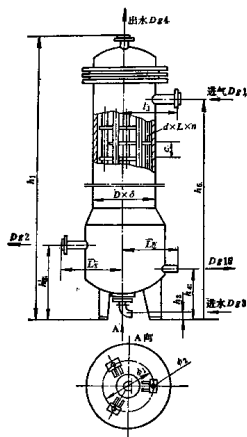
1) 列管式冷却器

列管式冷却器的结构形式如图 10-1 所示。它主要有筒体（外壳）5、隔板 4、冷却水管 2 等组成。

在列管式冷却器中，一般冷却水在管内流动、气体在管间流动。管内流动的冷却水可以是单程或双程流动。通过隔板的配置，管间的气体以垂直于管束的流向多程地曲折前进。

列管式冷却器的管束间相邻导管内中心距，一般取导管外径的 1.25~1.5 倍，导管内径取 12~20 毫米。

LN 型立式冷却器的构造及其主要尺寸如图 10-2 所示。



技 术 规 格

1. 气体进口温度 $\leq 150^{\circ}\text{C}$
2. 气体出口温度 $\leq 45^{\circ}\text{C}$
3. 进水温度 $\leq 30^{\circ}\text{C}$
4. 出水温度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$
5. $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ 时的冷却水量:
 $F = 12 \text{ 米}^3$, $4 \sim 5 \text{ 米}^3/\text{小时}$
 $F = 6 \text{ 米}^3$, $2 \sim 2.5 \text{ 米}^3/\text{小时}$
 $F = 3.5 \text{ 米}^3$, $1.5 \text{ 米}^3/\text{小时}$
6. 气体流量:
 $F = 12 \text{ 米}^3$, $18 \sim 24 \text{ 米}^3/\text{分}$
 $F = 6 \text{ 米}^3$, $9 \sim 12 \text{ 米}^3/\text{分}$
 $F = 3.5 \text{ 米}^3$, $6 \text{ 米}^3/\text{分}$

$F (\text{米}^3)$	$D \times \delta$	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	l_1	L_1	L_2	c
12	377 × 9	2383	570	60	400	1945	338	385	435	70
6	273 × 7	2160	500	60	274	1800	287	263	363	70
3.5	219 × 6	1995	400	40	224	1650	260	238	338	50

$F (\text{米}^3)$	$d \times L \times n$	D_{g1}	D_{g2}	D_{g3}	D_{g4}	ϕ_1	ϕ_2	重量(公斤)
12	20 × 1652 × 127	125	125	50	50	420	18	~566
6	20 × 1650 × 61	65	65	40	40	280	14	~305
3.5	20 × 1550 × 37	50	50	25	25	250	14	~207

图10-2 LN型立式冷却器

2) 散热片式冷却器

在导管上配置散热片能增大气体侧的传热面积，较大地提高热交换能力，因而相应地缩小冷却器尺寸和重量。

图 10-3 为散热片式冷却器结构图。在该冷却器中，气体在管间流动、水在管内流动，为了清洗和拆装方便，采用两只芯子水平置于壳体内。芯子系一束钢管插入一组大散热片中。散热片材料为 A3，厚 0.5 毫米、间距 3.5 毫米。为保证散热片与换热管道紧密接触，通常需

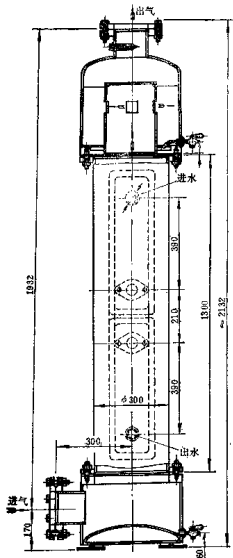


图10-3 散热片式冷却器

型式：浸桶散热片式；型号：LB-2型；冷却面积：5.3米²；气体进口温度：<160℃；气体出口温度：<45℃；气体流量：20 米³/分；工作压力：<8 公斤力/厘米²；冷却水进口温度：<30℃；冷却水出口温度：<40℃；冷却水消耗量($\Delta t=10^\circ\text{C}$)：2 米³/小时；冷却水压力：1.5~4 公斤力/厘米²；外形尺寸(长×宽×高)：560×560×2135 毫米；重量：277 公斤

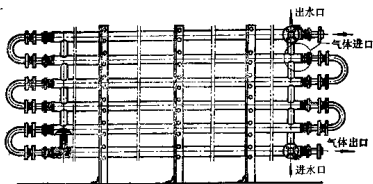


图10-4 套管式冷却器

1—气体管 2—冷却水管 3—堵头 4—填料

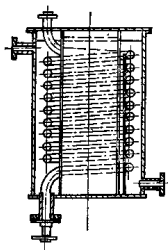
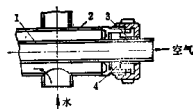


图10-5 沉浸式蛇管冷却器

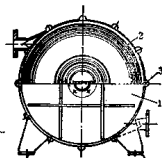


图10-6 螺旋板式冷却器

1—外壳 2—螺旋板 3—长螺丝钉

要浸锡或浸锌处理。浸锡或浸锌的厚度，一般在 $0.1 \sim 0.3$ 毫米范围内。

上述冷却器也可以采用翅片管的形式。散热片式冷却器的缺点是清洗不方便，尤其当气体含有尘埃时容易阻塞。

3) 套管式冷却器

套管式冷却器是气体在管内流动，冷却水在外管内表面与内管外表面之间的环形通道中流动，由于流通截面小，容易达到高速流动，有利于换热。冷却水沿导管的切向流入或流出，使其产生螺旋运动，以加强冷却效率。图 10-4 为套管式冷却器的结构形式。此种型式冷却器耗金属量较多、结构亦较为笨重。

4) 蛇管式冷却器

蛇管式冷却器是一种构造简单、操作方便的冷却设备。它是由圆筒型的蛇管放在容器或槽内构成，如图 10-5 所示。

蛇管的材料有钢管、铜管、或其他耐腐蚀的有色金属管与陶瓷管等。为减少气体的阻力，蛇管不宜太长。如蛇管是平型的，即由直管与回弯管焊接或法兰联接构成的，考虑到材料的性质及加工制造的关系，每根管子的长度不宜大于下列数值：钢管的长度 $l \leq 6$ 米；铸铁管的长度 $l \leq 3$ 米；硅铁管和陶瓷管的长度 $l \leq 2$ 米。另外，为了制造方便，管径采用 $6 \sim 76$ 毫米等标准管子。通常蛇管内气体的流速取 $0.3 \sim 0.8$ 米/秒。

蛇管冷却器的管子轴线间的距离一般为 $2.5 \sim 5 d_n$ （管子外径）。

沉浸式蛇管冷却器由于结构简单，可以由多种材料制造，所以采用较普遍。适合于小流量的任何压力范围。

5) 板式冷却器

常用的板式冷却器有平板式、螺旋板式及复波伞板式三种结构，其传热系数为列管式的 $2 \sim 4$ 倍，一般适用于操作压力在 6 公斤/厘米² 以下时。

图 10-6 为螺旋板式冷却器的结构图。它是用两块钢板卷成具有两个通道的螺旋体，然后再焊上顶盖和接管而成，气体和冷却水在相邻通道作逆向流动。具有单位体积的传热面积大、结构紧凑及节约材料的优点。此外，在螺旋通道中，流体本身具有冲刷作用，可以减少积垢，易于清洗。缺点是制造工艺要求高，维修较困难。

复波伞板冷却器是由锥形板片、垫片和瓦楞通道等组成，两种介质在锥形板片两侧以叉流形式进行热交换。由于其独特的伞型板面和螺旋波纹结构，在低流速下引起了流体的湍流，从而加强了流体间的对流换热，大大提高了传热效率。除具有螺旋板式冷却器的优点外，还有制造工艺简单，易于拆卸，便于检修和清洗等优点。

(2) 设计计算参考数据

在列管式冷却器的热力计算中，气体出口温度 t_2 比冷却水进口温度高 $5 \sim 8^\circ\text{C}$ ；冷却水的升温，一般取 $\Delta t = 10 \sim 20^\circ\text{C}$ ，并且希望 $t_2 \leq 40^\circ\text{C}$ ，因为超过 40°C 后会加剧硬水中盐类的析出，增厚水垢层，但经过处理的水允许超过 40°C 。

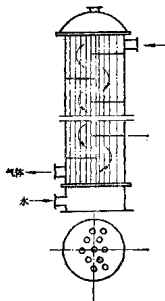


图10-7 立式管壳式水冷却器示意图

气体在列管式冷却器内沿管流动平均流速为 $3 \sim 12$ 米/秒；管间平均流速 $3 \sim 8$ 米/秒。

冷却水的流速：管内建议采用 $1 \sim 2$ 米/秒，不得低于 0.2 米/秒，以保证湍流；管间应大于 0.5 米/秒。散热片式等冷却器冷却水流速一般在 $1.5 \sim 3$ 米/秒范围内选取。

举例 需干燥冷却处理的气体量为 25 米³/小时，气体进口温度 $t_1 = 200^\circ\text{C}$ 、气体出口温度 $t_2 = 35^\circ\text{C}$ （采用立式管壳式列管水冷却器，水在管内流动，气体走管间横向冲刷管束，如图 10-7 所示）。

冷却水进口温度 $t'_1 = 30^\circ\text{C}$

冷却水出口温度 $t'_2 = 35^\circ\text{C}$

气体中初含湿量 x_1 按 40°C 饱和湿含量考虑：

$$x_1 = 63.27 \text{ 克/米}^3 \cdot ^\circ\text{C} \text{ 干气}$$

气体中终含湿量 x_2 按 35°C 饱和湿含量考虑：

$$x_2 = 47.45 \text{ 克/米}^3 \cdot ^\circ\text{C} \text{ 干气}$$

1) 气体冷却所带走的热量 Q_1

$$Q_1 = G C_p (t_1 - t_2) = 25 \times 0.31 (200 - 35) = 1280 \text{ 千卡/小时}$$

式中 C_p ——气体在平均温度 $\frac{200+35}{2}$ 下的等压比热，取 $C_p = 0.31$ 千卡/米³·°C。

注：气体中以氮 (N_2) 组份为多，且 N_2 的导热系数比其它气体组份为小，故选用氮气来计算所需冷却面积。

2) 气体中所含水分由 200°C 冷至 35°C 所带走的热量 Q_2

$$Q_2 = \frac{G x_1}{1000} \times 0.485 \times (t_1 - t_2) = \frac{25 \times 63.27}{1000} \times 0.485 \times (200 - 35) \\ = 127 \text{ (千卡/小时)}$$

式中 0.485 ——水蒸气的平均等压比热 (千卡/公斤·°C)。

3) 由 35°C 的水蒸气冷凝为水所带走的热量 Q_3

$$Q_3 = \frac{G (597 - 0.56 t_2) (x_1 - x_2)}{1000} = \frac{25 \times (597 - 0.56 \times 35) (63.27 - 47.45)}{1000} \\ = 228 \text{ (千卡/小时)}$$

式中 597 ——水蒸气的汽化热 (千卡/公斤)；

0.56 ——气化热在不同温度时的变化系数 (千卡/公斤·°C)。

气体冷却需带走的热量 Q ：

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1280 + 127 + 228 = 1635 \text{ (千卡/小时)}$$

4) 所需的冷却水量

$$W = \frac{Q}{C_p (t'_2 - t'_1)} = \frac{1635}{1 (35 - 30)} = 327 \text{ (公斤/小时)}$$

5) 传热系数 K

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_*} + \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{n1}}{\lambda_{n1}}}$$

式中 α_* ——水与金属管壁面间的给热系数 (千卡/米²·小时·°C)；

α_g ——气体与金属管壁面间的给热系数 (千卡/米²·小时·°C)；

δ_m ——金属管壁厚 (米);

δ_w ——管壁污垢厚 (米);

λ_m ——金属管壁的导热系数 (大卡/米·小时·℃);

λ_w ——管壁污垢的导热系数 (大卡/米·小时·℃)。

当采用 19 根 $\phi 22 \times 2$ 钢管, 按正六角形排列, 水走管内, 气体走管间, 外壳用 $\phi 159 \times 4.5$ 圆筒组成冷却器时。

水流截面积
$$f = \frac{\pi}{4} d^2 n \quad (\text{米}^2)$$

式中 d ——水管内径 (取 0.018 米);

n ——水管根数 (取 19)。

则
$$f = 0.785 \times (0.018)^2 \times 19 = 0.00484 \quad (\text{米}^2)$$

水流速度
$$\omega_w = \frac{W}{f} \quad (\text{米/秒}) = \frac{0.327}{3600 \times 0.00484} = 0.0188 \quad (\text{米/秒})$$

$$\alpha_w = 0.74 \frac{\lambda}{d} (\text{Re})^{0.2} (\text{Pr})^{0.4} (\text{Gr})^{0.1}$$

式中 λ ——水的导热系数 (千卡/米·小时·℃);

d ——水管内径 (米);

$\text{Re} = \frac{\omega_w d}{\nu}$ ——雷诺数;

$\text{Pr} = \frac{3600 \eta g C_p}{\lambda}$ ——普朗特数;

$\text{Gr} = \frac{g d^3}{\nu^2} \beta_t \gamma^0 \Delta t$ ——葛拉斯廓夫数。

Re 数的计算

$$\text{Re} = \frac{\omega_w d}{\nu} = \frac{0.0188 \times 0.018}{0.779 \times 10^{-6}} = 435$$

式中 ν ——32℃时水的运动粘度 (米²/秒)。

Pr 数的计算

$$\text{Pr} = \frac{3600 \eta g C_p}{\lambda} = \frac{3600 \times 81.7 \times 10^{-6} \times 9.81 \times 0.997}{53.2 \times 10^{-3}} = 5.1$$

式中 η ——32℃时水的动力粘度 (公斤·秒/米²);

g ——重力加速度 (米/秒²);

C_p ——32℃时水的定压比热 (千卡/公斤·℃);

λ ——32℃时水的导热系数 (千卡/米·小时·℃)。

Gr 数的计算

$$\text{Gr} = \frac{g d^3}{\nu^2} \beta_t \gamma^0 \Delta t = \frac{9.81 \times (0.018)^3}{0.805 \times 10^{-6}} \times 35 \times 10^{-3} \times 1^3 \times 5 = 16200$$

式中 β_t ——30℃时水的体积膨胀系数 (1/度);

γ ——水的比重 (30℃, 吨/米³);

Δt ——水的温差 (℃);

ν —— 30°C 时水的运动粘度 ($\text{米}^2/\text{秒}$)。

$$\alpha_k = 0.74 \times \frac{53.2 \times 10^{-3}}{0.018} \times (435)^{0.5} (15200)^{0.1} (5.1)^{0.8} = 392 \text{ (千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C)}$$

考虑修正系数 0.85,

$$\alpha_k = 392 \times 0.85 = 354 \text{ (千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\alpha_k = A \omega_k^{0.68} d_n^{-0.44} \quad (\text{Re} > 100 \text{ 时})$$

式中 A —— 根据气膜平均温度而定的系数, 当气膜平均温度 $\frac{(200+35)}{2} = 117.5^\circ\text{C}$ 时, 取 $A = 3.66$

ω_k —— 气体重量流速 ($\text{公斤/米}^2 \cdot \text{秒}$);

d_n —— 水管外径 (米)。

$$\omega_k = \frac{G \gamma_{n2}}{S} = \frac{25 \times 1.25}{3600 \times 0.004} = 2.17 \text{ (公斤/米}^2 \cdot \text{秒)}$$

式中 γ_{n2} —— 气体重度 (氮气) (公斤/米^3);

S —— 气体通过的截面积 (米^2)。

$$S = Dh \left(1 - \frac{d_n}{t} \right) = 0.1 \times 0.15 \times \left(1 - \frac{22}{30} \right) = 0.004 \text{ (米}^2 \text{)}$$

式中 D —— 圆筒内径 (取 0.15 米);

h —— 板间距 (取 0.1 米);

d_n —— 水管外径 (取 22 毫米);

t —— 水管间距 (取 30 毫米)。

$$\alpha_k = 3.66 \times (2.17)^{0.68} (0.0022)^{-0.44} = 30.2 \text{ (千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C)}$$

考虑一些因素的影响

$$\alpha'_k = 1.3 \times 0.6 \times 30.2 = 23.6 \text{ (千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C)}$$

把上述数值代入 K 值得

$$K = \frac{1}{\frac{1}{354} + \frac{1}{23.6} + \frac{0.002}{39} + \frac{0.0002}{1.5}} = 22 \text{ (千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C)}$$

0.002 —— 钢管壁厚 (米);

0.0002 —— 污垢厚 (米);

39 —— 钢的导热系数 ($\text{千卡/米} \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}$);

1.5 —— 污垢的导热系数 ($\text{千卡/米} \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}$)。

6) 对数平均温差

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t'_1) - (t_2 - t'_2)}{\ln \frac{t_1 - t'_1}{t_2 - t'_2}} = \frac{(200 - 35) - (35 - 30)}{\ln \frac{200 - 35}{35 - 30}} = 44.8 \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

7) 所需传热面积

$$F = \frac{Q}{K \Delta t} = \frac{1635}{22 \times 44.8} = 1.67 \text{ (米}^2 \text{)}$$

8) 所需管长

$$L = \frac{1.67}{19 \times 3.14 \times 0.022} = 1.37 \text{ (米)}$$

2. 直接接触水冷却器

在这种冷却器中, 气体和水直接接触而冷却, 还可以同时除去气体中的灰尘等杂质。在化工上又称为洗涤塔。气体经水直接喷淋后, 易于夹带水滴, 最好经过一个水气分离器。直接接触水冷却器适用于气体的初步冷却。

直接冷却器有两种型式: 无填料的(空心的)和有填料的。

无填料的直接接触水冷却器, 如图 10-8 所示。它的冷却表面就是水滴的表面, 所以, 使冷却水在高压下经特殊喷嘴形成细小雾滴是极为重要的问题。水在喷嘴中雾化情况决定于喷嘴的结构、水压和水量。压力越高, 水滴越细, 则冷却表面越大。喷出后水滴的大小一般为 0.1~1.0 毫米, 而它们的总面积可达每 1 立方米冷却器容积 100 平方米以上。

喷嘴最好安装在筒体的不同高度上, 使水向下和水平的方向喷出, 形成各向水雾幕, 增大了冷却面积。

无填料冷却器的优点是设备简单、工作可靠、造价低、气流阻力小和喷水所耗的能量少。

在直接接触水冷却器内, 放置几层填料, 即为有填料的冷却器。如图 10-9 所示。气体由下部进入, 由冷却器顶部排出。冷却器内部装有隔板, 隔板上放置填料。填料有: 木格填料、填料环(铁或陶瓷的)和焦炭。其中木格填料用得最广, 它是由按一定形式排列的未经刨光的木板条构成, 其厚度为 10~15 毫米、高 100~150 毫米, 板条间距为 25~50 毫米, 以 45° 或 90° 相交往上堆积, 这样就增加了气体在木格中的流动距离并改善了冷却条件。木格填料易于制作、造价低、重量轻、且使用期较长。

直接接触式水冷却器中, 气体的冷却过程比间接式冷却器复杂, 它在热交换的同时发生了质的交换, 冷却过程分两阶段进行。进入冷却器的气体初温一般高于露点温度, 在第一阶段中, 部分气体的物理热消耗于部分冷却水的蒸发。气体温度下降, 含湿量亦增加, 而气体的热量保持不变, 因为水分蒸发后以水蒸汽的形态进入气体中。这一阶段一直进行到露点温度为止, 然后进入冷却的第二阶段。气体依靠热交换继续冷却, 水蒸汽开始冷凝下来, 而气体含湿量亦逐渐降低, 在这一阶段中, 气体始终保持饱和状态。

直接接触水冷却器有关设计参数, 除详细计算外, 也可由经验数据来确定, 冷却器直径按气体在空心部分流速为 0.5~0.8 米/秒计算, 高度按气体在冷却器内停留时间为 15~20 秒确

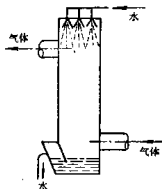


图10-8 无填料的直接接触冷却器简图

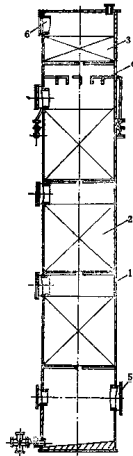


图10-9 有填料的直接接触冷却器

1—外壳 2—木格填料 3—喷淋装置 4—喷水装置 5—气体入口
6—气体出口

定。每处理 1000 立方米气体所需木格填料面积为 100~150 平方米, 气体通过冷却器的压力损失为 10~20 毫米水柱。

3. 加压机冷却器

提高气体的压力, 可以大大减少气体中的饱和湿含量, 达到较低的露点。

设有温度为 T 的混合气体 V 米³, 对其中所含有的水蒸汽及干气体写出状态方程式如下:

$$P_n V = G_n R_n T$$

$$P_b V = G_b R_b T$$

二式相除, 并根据 d (含湿量) 的定义得

$$d = 1000 \frac{G_n}{G_b} = 1000 \frac{P_n R_b}{P_b R_n} \text{ 克/公斤干气体}$$

根据道尔顿定律, 混合气体的总压力等于其组成气体的分压力之和。即 $B = P_b + P_n$ 。

如取 $P_b = B - P_n$ 代入上式, 则:

$$d = 1000 \frac{R_b}{R_n} \cdot \frac{P_n}{B - P_n} = 1000 \frac{R_b}{R_n} \cdot \frac{\varphi P_n}{B - \varphi P_n} \text{ (克/公斤干气体)}$$

式中 d ——含湿量(克/公斤干气体);

P_n ——水蒸气分压力(公斤力/厘米²);

P_b ——干气体分压力(公斤力/厘米²);

G_n ——水蒸气重量(公斤);

G_b ——干气体重量(公斤);

R_n ——水蒸气的气体常数(公斤·米/公斤·度);

R_b ——混合气体的气体常数(公斤·米/公斤·度);

φ ——相对湿度(%);

P_n ——水蒸气的饱和压力(公斤力/厘米²);

B ——混合气体总压力(公斤力/厘米²)。

在一定总压力 B 下, 对于 $\varphi = 1$ 的饱和混合气体, 含湿量达到了指定温度下的最大值, 这时:

$$d_b = 1000 \frac{R_b}{R_n} \cdot \frac{P_n}{B - P_n} \text{ (克/公斤干气体)}$$

从上式可以看出, 当混合气体总压力 B 增大时则饱和含湿量 d_b 将降低。

混合气体在其含湿量不变条件下达到饱和状态的温度即为露点温度。可见, 露点温度与含湿量是两个互相联系的参数, 含湿量越小, 其露点越低(表10-2)。

例如当气体的表压力为 5 公斤力/厘米²时, 其绝对压力值为: $1.760 + 5 \times 760$ 毫米汞柱。根据状态方程式, 蒸气的体积对混合气体体积的比值等于水蒸汽分压对总压的比值。上述容积中水蒸汽的百分数即为:

$$\frac{P_n}{B + P} = \frac{17.5}{760 + 5 \times 760} = 0.4\%$$

式中 B ——计示大气压(毫米汞柱);

P_n ——温度为 20°C 时水蒸气的分压(毫米汞柱);

P ——气体表压力(5 × 760 毫米汞柱)。

这就是说, 气体在压力为 5 表压下在列管式冷却器内用水冷却时, 可以干燥到露点 -5.5°C (0.4%)。而未加压的气体在用 20°C 的水冷却后仅可达到露点 25°C (3.2%)。

(二) 冷冻干燥

冷冻干燥是利用人工冷源: 氨、氟里昂、冷冻盐水等, 使气体冷却到一定的露点温度, 析出其所含水分, 从而达到所需要的干燥度的除水方法。

目前常用的冷冻干燥有如下几种形式。

1. 表面冷却器

按照所采用的冷媒不同, 表面冷却器可分为直接蒸发式和水冷式两种。凡是直接用制冷剂 (如氟里昂) 做冷媒的, 称为直接蒸发式表面冷却器, 凡用深井水、冷冻水或盐水等做冷媒的, 叫水冷式表面冷却器。

冷却器由管子和肋片构成, 按照制作的材料和加工方法不同, 表面冷却器的散热肋管通常有以下几种: 按肋管材料分有钢管铜片, 铝管铝片, 铜管铜片等。其中以铝管轧片较好, 因为既不需要铜材, 又有较高的传热系数。

按肋管加工方法有穿片式、绕片式、轧片式等。肋管的加工, 应使肋片与管子连接紧密, 以便有较高的传热系数; 同时, 应有可靠的防锈措施。

肋片的几何形状有板式 (平板、波纹板)、螺旋片式 (有皱折)、螺旋线式、光管式等。

肋管的排列方式有顺排、叉排两种, 一般采用叉排。

(1) 直接蒸发式表面冷却器

在直接蒸发式表面冷却器内, 冷媒 (氟里昂) 与气体进行间接热交换, 使气体中的热量通过管壁传递给冷媒。当气体与低于它的露点温度的冷表面直接接触时, 在降温冷却的同时, 气体中的水蒸汽凝结成水珠析出, 从而获得冷却干燥的效果。

图 10-10 为直接蒸发式表面冷却器外形图。

由上海冷气机厂生产的 P-2 和 P-10 型直接蒸发式表面冷却器的规格特性见表 10-3。

直接蒸发式表面冷却器安装时, 应使冷媒与气体呈逆向流动, 如图 10-11 所示, 以增大对数温差。

P-2、P-10 直接蒸发式表面冷却器迎风面的气体速度一般取 $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。蒸发温度 t_1 一般均取 0°C 以上, 以提高冷冻机的产冷量。为了防止蒸发器表面结霜、结冰, 蒸发温度均应高于表 10-4 所列的数字。

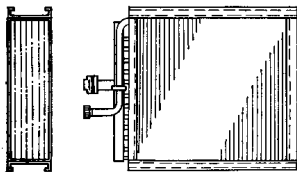


图 10-10 直接蒸发式表面冷却器外形

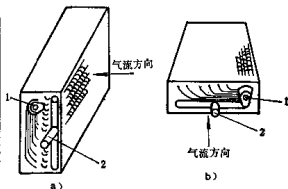


图 10-11 直接蒸发式表面冷却器冷媒接管安装图

a) 冷却器垂直安装 b) 冷却器水平安装

1—供液分配器 2—回气管