

本文针对引进冰箱中大量采用竖排盘管冷凝器的事实,通过分析不同排管方式对管内凝结换热的影响,提出不同观点,以期展开广泛深入的讨论。

冷凝器是电冰箱制冷系统中使制冷剂蒸气释放气化潜热,实现热量转移,完成气—液相变,维持制冷循环的重要部件。而制冷剂蒸气在冷凝管内的凝结换热又是冷凝器“冷凝”的必要条件,因此,凝结换热是研究冷凝器的重要课题之一。

冰箱的冷凝器有多种型式,各自的工艺与原材料也不相同。但冷凝管排列方式对凝结换热的影响在各类冷凝器中是一致的。

一、膜状凝结换热

1. 凝结

凝结是指蒸气接触低于其相应压力下饱和温度的冷面,释放气化潜热成为液体的现象。由于冷面的条件不同,凝结可分为膜状凝结和珠状凝结两类。凝结时,润湿角的大小决定了凝结形式的不同:当润湿角小于 90° 时,凝结液润湿冷面呈现为膜状凝结,冰箱冷凝管内的凝结都属于这种类型。当润湿角大于 90° 时,凝结液成为小液珠,称为珠状凝结。虽然珠状凝结的换热效果优于膜状凝结,但液珠形成的条件苛刻以致无法在实用中采取强化和维持的措施。因此,冰箱冷凝器冷凝管内的凝结换热应着眼于膜状凝结换热系数的提高。

2. 膜状凝结

冷凝管内制冷剂蒸气的膜状凝结过程可以这样来描述:初始瞬时,制冷剂蒸气接触其温度大大低于相应压力下饱和温度的冷凝管壁面,制冷剂急速凝结润湿表面形成液膜。过后,蒸气接触的“冷面”是前一瞬时凝结的液膜与蒸气的界面(它的温度大大高于室温,低于饱和温度)。因此,大量的凝结换热是在不断形成的液膜表面进行的。于是,制冷剂蒸气

的热量从液膜表面的凝结换热开始,经由液膜内部、液膜与冷凝管、冷凝管外表面与周围空气等途径向外传递。

由此可见,尽管冰箱冷凝管内,膜状凝结的两相非隔离流动的换热问题比较复杂,但是我们对冷凝器排管方式的讨论,可以简化为排列方式所引起的液膜热阻变化,即排列方式对换热面积、液膜厚度、液体流速、液体流动方式的影响。

二、制冷剂在竖排盘管内的换热

在图1所示的竖排盘管中,制冷剂蒸气在冷凝管内壁面形成液膜后,蒸气不断地在新生成的液膜表面凝结,液膜厚度不断增加。由于左右两管液膜重力与气流的流动方向不同,产生以下不同的情况:

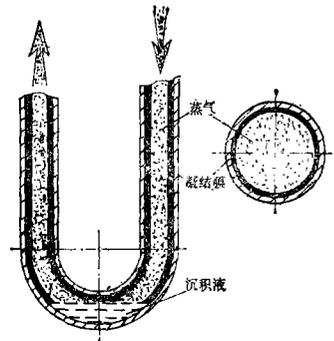


图 1

在图1所示竖管右侧,液膜重力与气流同向,蒸气对液膜的摩擦力、液膜的重力促使液膜变薄,迫使液膜随气流向下汇入下部的弯头处。在这段竖管中的液膜较薄,流速较快,换热效果较好。

在图1竖管的左侧中,液膜重力与气流异向。当气流速度较大时,蒸气与界面的摩擦力足以使蒸气带动液膜克服重力向上作同向运动,此时液膜的重力起着阻碍液膜流动、增加液膜厚度的有害作用;当气流速度较小时,蒸气与界面的摩擦力不能克服液膜重力带动液膜

作同向运动，随着液膜厚度的增加，液膜重力克服摩擦力向下流动。此时摩擦力促使液膜加厚，阻碍液膜流动。可见，在重力与气流异向的竖管中，无论液膜与气流是作同向运动，向上越过上部弯头流入下一竖管，还是作异向运动汇入下部弯头沉积，其液膜厚度都将大大增加，流速减慢，因此，热交换较弱。

由于竖排盘管中上述两种情况相间存在，一半的冷凝管处于重力与气流异向状态，所以综合换热效果不佳。

此外，竖排盘管的外部与空气的自然对流形成多次顺、逆相间的两相隔离对流换热，热交换效果不如纯逆流，交叉流为好。

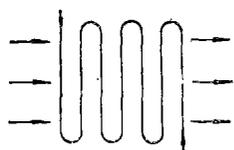


图 2

值得指出的是竖排盘管的下部，每个弯头都沉积液体，不仅出现沉积液大量淹没换热面积，而且由于沉积液的输送方式会造成不良后果，如图 3 所示。沉积液借助液面张力，气流的作用到达一定量时，封堵管道隔离蒸气，依靠前方蒸气的体积减少（不断凝结）形成与后方蒸气的压差，一段一段地将液柱推向前方。这种输液方式，一方面造成压力的波动；另一方面，被隔离的气段中如果存在不凝气体，不凝气体将随着制冷制蒸气的全部液化而以气泡形式混杂于液体之中，随同液体参加制冷剂的循环。这些都是导致毛细管异常节流，影响制冷系统正常工作的因素。

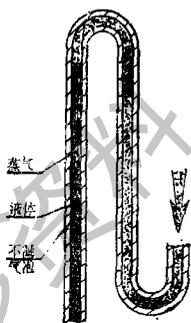


图 3

三、制冷剂在横排盘管中的换热

在图 4 所示的横排盘管中，制冷剂蒸气在冷凝管内壁面形成液膜后，蒸气不断地在新生成的液膜表面凝结，液膜厚度不断增加。一方面，液膜在气流的作用下与气流同向流动；另一方面，液膜在重力作用下汇流到下部沉积，沉积液亦在气流的作用下与气流同向流动。可

见，横排盘管中的气流作用力（蒸气对液面的摩擦力、剪切力）和液体的重力始终起着减薄上部凝结液膜厚度、加速液体流速的作用，气

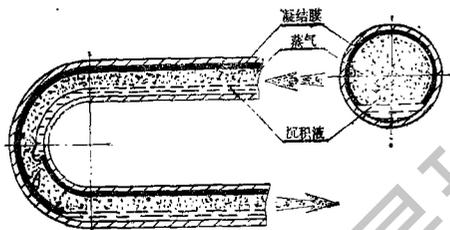


图 4

液保持同向层流。此外，横排盘管的弯头还起到迫使下部沉积液（或液滴）流入下一横管，冲击下一横管的液体，形成局部紊流和飞溅，使液膜产生波动，提高了换热效果，从而弥补下部沉积液淹没的部分换热面积的损失。

横排盘管的外部与空气自然对流形成多次交叉的两相隔离换热（如图 5 所示），其换热效果优于顺流而接近于逆流。

因此，横排盘管的换热，无论是管内还是管外都比竖排盘管为优，它的气液分层流动的特点也不会产生压力波动和不凝结气体混杂于液体中的弊病。



图 5

四、换热系数比较

在膜状凝结换热计算方面，努谢尔特（Nusselt, W）的理论解虽然有不完善之处，实际情况也往往不同于努谢尔特的假设条件，但是他所提供的物理模型，尤其是对本文讨论的横竖两种排管形式的对比是完全适用的。

按努谢尔特凝结换热计算公式，竖管平均换热系数 $\bar{\alpha}_{竖} = 1.13 [gr\rho_L^2\lambda_L^3 / \mu_L L (T_s - T_w)]^{1/4}$ ，横管平均换热系数 $\bar{\alpha}_{横} = 0.725 [gr\rho_L^2\lambda_L^3 / \mu_L d (T_s - T_w)]^{1/4}$ 则：

$$\bar{\alpha}_{横} / \bar{\alpha}_{竖} = 0.64(L/d)^{1/4}$$

冰箱冷凝管按 $L=10m, d=5mm$ 计算

$$\bar{\alpha}_{横} / \bar{\alpha}_{竖} = 4.28$$

（下转第44页）

续表 2

指 令						表 长		读取次数	
M2	M1	M0	L2	L1	L0	表 1	表 2	表 1	表 2
1	0	1	1	0	0	512	128	1	1
1	0	1	1	1	0	1024	256	1	1
1	0	1	1	1	1	2048	512	1	1
1	1	0	0	0	0	16	4	1	4
1	1	0	0	0	1	32	8	1	4
1	1	0	0	1	0	64	16	1	4
1	1	0	0	1	1	128 (4/1)	32	1	4
1	1	0	1	0	0	256	64	1	4
1	1	0	1	0	1	512	128	1	4
1	1	0	1	1	0	1024	256	1	4
1	1	0	1	1	1	2048	512	1	4
1	1	1	0	0	0	16	16	1	1*
1	1	1	0	0	1	32	16	1	1*
1	1	1	0	1	0	64	16	1	1*
1	1	1	0	1	1	128 (8/1)	16	1	1
1	1	1	1	0	0	256	32	1	1
1	1	1	1	0	1	512	64	1	1
1	1	1	1	1	0	1024	128	1	1
1	1	1	1	1	1	2048	256	1	1

表中*号表示方式重复

数据、解码、衰减量的关系

表 3

数据	输出	衰 减	数据	输出	衰 减
序号	十进制数	-dB	序号	十进制数	-dB
0	1024	0.00	21	167	15.75
1	939	0.75	22	153	16.51
2	862	1.50	23	141	17.22
3	790	2.25	24	129	17.99
4	725	3.00	25	118	18.77
5	665	3.75	26	108	19.54
6	610	4.50	27	99	20.29
7	559	5.26	28	91	21.03
8	513	6.00	29	84	21.72
9	471	6.75	30	77	22.48
10	432	7.50	31	70	23.30
11	396	8.25	32	65	23.95
12	363	9.01	33	59	24.79
13	333	9.76	34	54	25.56
14	306	10.49	35	50	26.23
15	281	11.23	36	46	26.95
16	257	12.01	37	42	27.74
17	236	12.75	38	38	28.61
18	216	13.52	39	35	29.32
19	199	14.23	40	32	30.10
20	182	15.00	41	29	30.96

续表 3

数据	输出	衰 减	数据	输出	衰 减
序号	十进制数	-dB	序号	十进制数	-dB
42	27	31.58	53	10	40.21
43	25	32.25	54	9	41.12
44	23	32.97	55	8	42.14
45	21	33.76	56	7	43.30
46	19	34.63	57	6	44.64
47	17	35.60	58	5	46.23
48	15	36.68	59	4	48.16
49	14	37.28	60	3	50.66
50	13	37.93	61	2	54.19
51	12	38.62	62	1	61.21
52	11	39.38	63	0	Max.

(上接第4页)

即,在其他条件不变的情况下,将竖管改为横管,换热系数可增大3倍以上。

当前大量引进的冰箱中,竖排盘管冷凝器占据相当大的比例,为求真知,抛砖引玉,以期专业人员深入探讨。