

直冷式冰箱系统内的辐射换热效果

童灵 杨慷 陈芝久

(上海交通大学制冷及低温工程系 上海 200030)

摘要 直冷式冰箱内各冷表面温度不同,其红外辐射能量也随之而不同。而在此温度较低的环境中,辐射传热的影响较大。通过对红外辐射的分析,结合工程实践中的直冷式冰箱系统的特点,采用蒙特卡罗法编写通用计算程序,对综合的辐射过程进行数值模拟。针对具体的直冷式冰箱冷冻室作算例,评估辐射传热在低温系统中的作用。

主题词 蒙特卡罗法 红外辐射 直冷式冰箱

1 引言

直冷式冰箱内,红外辐射是重要的热负荷。由于各固体壁面和储藏物品表面的温度都有所不同,其各自的红外辐射和红外吸收能力也就各不相同。由于确定红外长波辐射发射和吸收能力与其绝对温度的4次方成正比,所以低温环境下的小温差也有可能导致比较大的内部热流。根据传统的算法所计算得到的冷量往往会小于实际情况。一般估计,低温壁面和高温储藏物品间的辐射换热将占直冷式冰箱系统中总换热量的30%左右。这只是一个估计的比例,实际上的情况还不明显。由于冰箱内部几何结构相对比较复杂,无法直接进行简单的角系数求解。这就给经典的辐射换热计算带来了不可逾越的困难。随着计算机技术的发展,以概率统计为基础的蒙特卡罗方法将在这个方面发挥特殊的作用。

2 直冷式冰箱中红外长波辐射的特点

一般情况下,辐射能量是直射辐射能量和散射能量之和。其中的直射辐射是有方向的,而散射辐射能量是没有方向的。总的说来,这些辐射有可能在非透明固体界面处被吸收,而未被吸收的部分则会发生反射现象。吸收与反射的比例就决定于固体界面的吸收率和反射率。对于固体壁面或者储藏物品而言,它们既在吸收一部分接受到的红外长波辐射,也在按一定的比例向外界辐射红外长波辐射。可以认为这些固体表面是灰体表面,即辐射率等于吸收率。于

是就形成辐射能量的相互交换，而这种交换的能力主要取决于其表面的灰度和绝对温度

3 蒙特卡罗法的实现

蒙特卡罗方法是指采用数值模拟和概率分析的方法而仿真实际的复杂物理情况。随着计算机技术的发展，蒙特卡罗方法现在已经在许多学科领域中得到广泛的应用。由于计算空间内的几何结构和部件表面物理模型的复杂性，蒙特卡罗方法是一种必要且有效的方法。用蒙特卡罗方法计算各个表面间的辐射换热量的过程主要是三个过程，即：A) 确定初始辐射射线；B) 跟踪辐射射线在各个表面之间的传递；C) 确定辐射射线与各个表面的作用结果。该方法物理概念确定，基本思路明确，能适应复杂的空间系统。

4 具体直冷式冰箱算例

本文选择图 1 所示的直冷式冰箱作为计算的实例。直冷式冰箱分为冷冻室和冷藏室两部分，两个部分都存在辐射换热。冷藏室内部温差较小，因而辐射换热的影响较小；而冷冻室内部温差较大，辐射换热的影响就较大。在此，仅对温度较低的冷冻室内的辐射换热量进行计算。

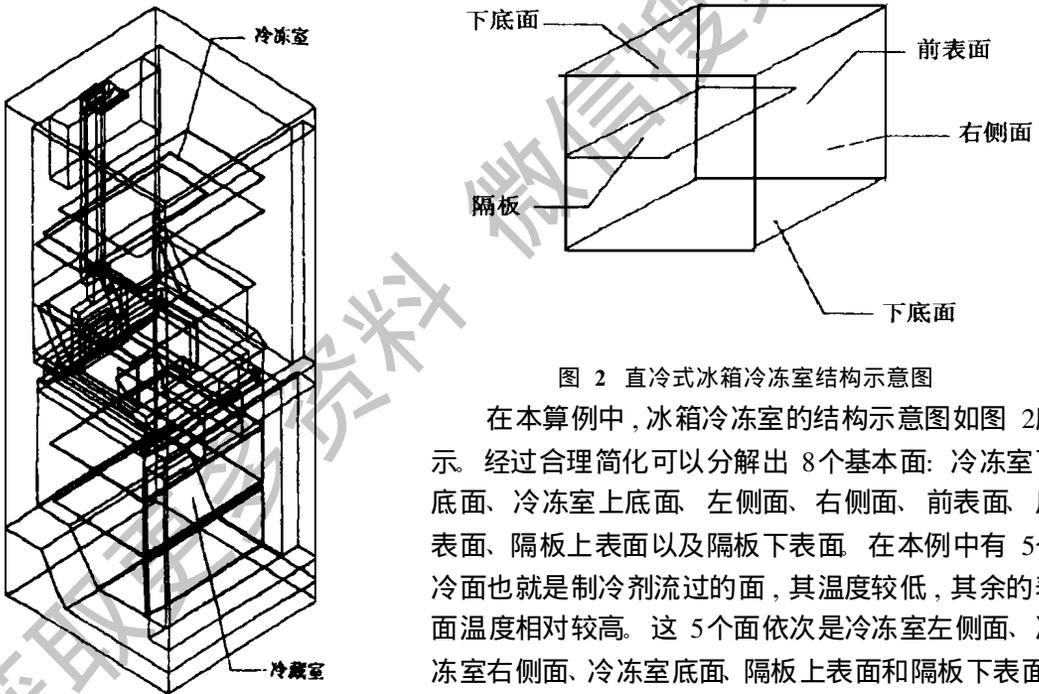


图 2 直冷式冰箱冷冻室结构示意图

在本算例中，冰箱冷冻室的结构示意图如图 2 所示。经过合理简化可以分解出 8 个基本面：冷冻室下底面、冷冻室上底面、左侧面、右侧面、前表面、后表面、隔板上表面以及隔板下表面。在本例中有 5 个冷面也就是制冷剂流过的面，其温度较低，其余的表面温度相对较高。这 5 个面依次是冷冻室左侧面、冷冻室右侧面、冷冻室底面、隔板上表面和隔板下表面。这 8 个基本面可作为灰体处理。其具体尺寸为：冷冻室高 0.30 m，底面长 0.42 m，底面宽 0.40 m；隔板位于冷冻室半高处，宽度为 0.2 m。冷面温度取为 -25°C ，非冷面温度取为 -10°C ，利用公式

图 1 具体直冷式冰箱的结构示意图

$E = X\epsilon T^4 S$ (X 为灰度； ϵ 为辐射常数， T 为绝对温度； S 为面积) 计算出各个面的辐射能量。

用蒙特卡罗法进行具体计算后，结果由表 1 和表 2 所示。

在传统的换热负荷计算中只包含了对流换热，未考虑到内部的辐射换热。在冷冻室的温度环境下对流换热的换热系数为 $10\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 左右。下底面 (面积为 0.168m^2) 的辐射换热

量最大,为 8.71 W,而其对流换热量约为 1.68 W,即辐射换热量约占总换热量的 80%;隔板下侧面(面积为 0.084 m²)的辐射换热量最小,为 0.41 W,而其对流换热量约为 0.84 W,即辐射换热量约占总换热量的 30%。由此可见,在此冷冻室的低温环境中,辐射换热量约占总换热量的 30%~80%,其影响是很大的。

表 1 冷冻室每个面的辐射能量在各个面的分配比例

发射面	吸收面							
	下底面	上底面	左侧面	右侧面	前表面	后表面	隔板下侧	隔板上侧
下底面	4.24E-02	8.34E-02	1.69E-01	1.69E-01	1.99E-01	1.57E-01	1.67E-01	4.10E-03
上底面	8.33E-02	4.26E-02	1.68E-01	1.69E-01	1.99E-01	1.55E-01	4.10E-03	1.67E-01
左侧面	2.04E-01	2.04E-01	3.42E-02	5.50E-02	1.80E-01	1.32E-01	1.03E-01	7.95E-02
右侧面	2.07E-01	2.03E-01	5.50E-02	3.30E-02	1.80E-01	1.34E-01	9.69E-02	8.30E-02
前表面	2.50E-01	2.51E-01	1.77E-01	1.78E-01	3.02E-02	6.25E-02	2.26E-02	2.24E-02
后表面	1.61E-01	1.61E-01	1.22E-01	1.22E-01	5.93E-02	3.93E-02	1.89E-01	1.37E-01
隔板下侧	3.34E-01	9.86E-03	1.49E-01	1.49E-01	7.74E-02	2.40E-01	3.28E-02	5.06E-04
隔板上侧	9.86E-03	3.34E-01	1.49E-01	1.49E-01	7.74E-02	2.40E-01	5.06E-04	3.28E-02

表 2 冷冻室每个面的辐射能量在各个面的分配

辐射能量 /W	吸收能量 /W							
	下底面	上底面	左侧面	右侧面	前表面	后表面	隔板下侧面	隔板上侧面
下底面	1.32	2.40	4.87	4.87	5.74	4.65	4.87	0.17
上底面	3.13	1.55	6.13	6.16	7.26	5.77	0.20	6.15
左侧面	4.30	4.20	0.71	1.14	3.71	2.80	2.11	1.68
右侧面	4.36	4.18	1.14	0.68	3.70	2.80	2.05	1.76
前表面	6.94	6.84	4.92	4.92	0.82	1.76	0.60	0.60
后表面	4.48	4.38	3.28	3.28	1.64	1.22	5.24	3.88
隔板下侧面	4.86	0.14	2.16	2.16	1.11	3.58	0.53	0.06
隔板上侧面	0.24	4.76	2.16	2.16	1.11	3.58	0.06	0.53

对表 2 的数据进行处理,可以得到每个面的净换热量,结果见表 3

表 3 冷冻室各面的辐射能量收支表

	下底面	上底面	左侧面	右侧面	前表面	后表面	隔板上侧面	隔板下侧面
总辐射能量 /W	28.82	36.46	20.60	20.60	27.34	27.34	14.42	14.42
总吸收能量 /W	29.63	27.75	25.37	25.37	25.09	26.20	15.65	14.83
净得能量 /W	0.81	-8.71	4.77	4.77	-2.25	-1.14	1.23	0.41

5 结束语

计算冷冻室内部的辐射换热具有重要的实际意义。和以往的传统方法比较,蒙特卡罗法具有物理概念明确,基本思路简单,适用性广等优点,而且对计算机资源的要求也相对较低。

针对冰箱的特点和内部环境中的一些实际情况,可以编写通用的计算程序而对多种结构的直冷式冰箱或间冷式冰箱的辐射负荷进行定量计算。通过以上计算,也可以清楚地了解各个面的能量得失情况,为我们分析热负荷的具体分布,以此来更好地设计一台性能优良的冰箱奠定了坚实的基础。更为重要的是,我们认识到在有关制冷和低温的各个领域,蒙特卡罗法都具有广阔的应用前途。

参 考 文 献

- 1 Binder Heermann D W 著, 秦克诚译. 统计物理学中的蒙特卡罗模拟方法. 北京: 北京大学出版社, 1994.
- 2 杨世铭. 传热学. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- 3 夏新林, 谈和平, 余其铮. 用蒙特卡罗方法计算空间光学系统表面间的辐射传递系数. 郑州: 中国工程热物理学会计算传热学组, 1995.

EFFECT OF RADIANT HEAT TRANSFER IN THE SYSTEM OF DIRECT COOLING REFRIGERATOR

Tong Ling Yang Kang Chen Zhijiu

(Department of Refrigeration and Cryogenics Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

ABSTRACT There exists temperature difference among the inner surfaces of the refrigerator. As a result, the infrared radiation energy of every surface is different and the radiant heat transfer plays an important role under the low temperature environment. On the basis of the Monte Carlo method, the analysis of infrared radiation energy and its distribution is carried out for a real refrigerator. Most of the real conditions are taken into consideration in the calculation. The final results help to explain and evaluate the physical phenomena and its importance.

KEYWORDS Monte Carlo method; infrared radiation; refrigerator

(上接第 45 页)

HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF PLATE-FIN HEAT EXCHANGER IN THE FIELD OF REFRIGERATION AND AIR CONDITION

Zhang Xiaosong Li Shuhong Zhao Kaitao

(Southeast University, Nanjing, 210096)

ABSTRACT This paper deals with the experimental study of an air-water plate-fin heat exchanger. The experimental investigation was carried out and the performance data of heat transfer and flow resistance were obtained. Experimental equations of convection coefficient and friction resistance coefficient were presented.

KEYWORDS plate-fin heat exchanger; heat transfer characteristics; flow resistance; experimental equation