

前 言

本标准非等效采用美国供暖制冷空调工程师学会标准 ASHRAE 30:1995《液体冷却机组的试验方法》。本标准与 ASHRAE 30:1995 主要技术内容存在以下差异:

1. 定义的术语不同;
2. 本标准未编入 ASHRAE 30:1995 中的“液体冷却机组型式”和“参考文献”;
3. 本标准在“试验方法”中增加了一种主要试验方法和三种校核试验方法以及试验装置图;同时还列出了计算制冷量和制热量的公式。

本标准是对 GB/T 10870—1989《容积式冷水机组性能试验方法》的修订。

本标准与 GB/T 10870—1989 相比,主要技术内容改变如下:

1. 适用范围扩大到热泵机组、离心式冷水机组、盐水机组、乙二醇机组等;
2. 增加了前言、引用标准的导语、热泵制热量的定义、对水质的要求以及风冷式和蒸发冷却式机组的记录参数;
3. 将原标准 4.2.3、4.4 和公式(10)作了改动;
4. 试验方法中增加了热泵制热量的计算。

本标准的附录 A 和附录 B 都是标准的附录。

本标准从实施之日起,代替 GB/T 10870—1989。

本标准由全国冷冻设备标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:武汉新世界制冷工业有限公司、合肥通用机械研究所。

本标准主要起草人:孙正国、任金禄。

本标准由全国冷冻设备标准化技术委员会负责解释。

中华人民共和国国家标准

容积式和离心式冷水(热泵)机组 性能试验方法

GB/T 10870—2001

代替 GB/T 10870—1989

The methods of performance test for positive
displacement & centrifugal
water-chilling units and heat pump

1 范围

本标准规定了电动机驱动的容积式和离心式冷水(热泵)机组主要性能的有关定义、试验规定、试验方法、校核试验与主要试验的偏差、机组总输入电功率和制冷性能系数的评定。

本标准适用于以容积式或离心式制冷压缩机、冷凝器、蒸发器和节流阀等所组成的冷水(热泵)机组(以下简称“机组”)的性能试验。盐水机组、乙二醇机组等也可参照使用。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2624—1993 流量测量 节流装置用孔板、喷嘴或文丘里管测量充满圆管的流体流量
(eqv ISO 5167-1:1991)

GB/T 5773—1986 容积式制冷压缩机性能试验方法(eqv ISO 917:1974)

GB 50050—1995 工业循环冷却水处理设计规范

JB/T 3355—1998 离心式冷水机组

JB/T 4329—1997 容积式冷水(热泵)机组

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 机组净制冷量 unit net refrigerating capacity

单位时间内制冷剂在机组蒸发器中从冷水处吸取的热量,即冷水质量流量乘以蒸发器、出口冷水比焓之差的积。

3.2 热泵制热量 heat-pump heating capacity

单位时间内制冷剂在机组冷凝器向热水放出的热量,即热水质量流量乘以冷凝出、进口热水比焓之差的积。

3.3 机组总输入电功率 unit gross electric power

即机组消耗总输入电功率,包括压缩机电动机、油泵电动机、电加热器和操作控制电路等的总输入电功率,风冷式还包括冷却风机电功率;蒸发冷却式还包括淋水装置水泵用电功率。

3.4 制冷性能系数(COP) coefficient of performance

在规定工况下,整台机组中以同一单位表示的单位时间从低温物体移去的热量与总输入的能量之

国家质量技术监督局 2001-01-10 批准

2001-10-01 实施

比。

4 试验规定

4.1 一般规定

4.1.1 排除机组系统内不凝性气体,并确认没有制冷剂的泄露。

4.1.2 系统内应有足够的(按使用说明书的要求)符合有关标准规定的制冷剂,压缩机内保持正常运转用润滑油量。

4.1.3 机组试验系统应设置必要的温度计套管和压力表引出接头等。

4.1.4 试验用的测试设备和仪表不应妨碍机组的正常运转和操作。

4.1.5 机组蒸发器、冷凝器和油冷却器等的水侧应清洗干净。

4.1.6 机组使用的水质应符合 GB 50050 的规定。风冷式和蒸发冷却式机组的环境应充分宽敞。

4.2 试验规定

4.2.1 机组性能试验包括主要试验和校核试验,两者应同时进行测量(对风冷式和蒸发冷却式机组不做校核试验)。

4.2.2 校核试验和主要试验的试验结果之间的偏差应在 $\pm 6\%$ 以内,并以主要试验的测量结果为计算依据。

4.2.3 测量应在机组试验工况稳定 1 h 后进行,每隔 10 min 测量记录一次,直至连续四次的测量数据符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定为止。第一次测量至第四次测量记录的时间称为试验周期,在该周期内允许压力、温度、流量和液面作微小的调节。

4.3 试验方法

4.3.1 主要试验方法

机组性能的主要试验方法为液体载冷剂法(见 5.1)。

4.3.2 校核试验方法

机组校核试验方法可取如下一种:

- a) 机组热平衡法(见 5.2);
- b) 液体制冷剂流量计法(见 5.3);
- c) 水冷冷凝器法(见 5.4)。

校核试验仅适用于水冷式冷水机组,对风冷式和蒸发冷却式机组不做校核试验。

4.4 试验参数规定

试验时,试验参数按 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

4.5 测量仪表和精度的规定

4.5.1 试验用仪表应在有效使用期内,并应有近期经计量部门或有关部门的校正合格证明。

4.5.2 测量仪表和精度的具体规定见附录 A(标准的附录)。

4.6 试验数据整理¹⁾

4.6.1 蒸发压力和冷凝压力等应按试验时的当地大气压力值修正。

4.6.2 所有测量值应按试验周期内连续四次测得的平均值为计算依据。

4.7 试验报告的内容

4.7.1 一般数据为:

- a) 试验日期、地点和人员;

1) 计算用制冷剂、载冷剂和冷却介质的热物理性能数值,可采用机械工业出版社出版的《制冷工质热物理性质表和图(SI制)》及上海交通大学出版社出版的《新制冷工质热力性质图和表》上的数据;也可采用以马丁-侯(Martin-Hou)状态式为基础的电算值。

- b) 机电型号和出厂编号;
 - c) 电源电压、频率;
 - d) 机组总输入功率;
 - e) 冷水进、出口温度;
 - f) 冷水质量流量;
 - g) 制冷剂、润滑油及其充入量;
 - h) 大气压力及环境温度;
 - i) 蒸发器隔热层的说明;
 - j) 试验装置简图。
- 4.7.2 水冷式机组还须记录:
- a) 冷凝器冷却水进、出口温度;
 - b) 冷却水质量流量;
 - c) 冷凝器冷却水进、出口压力。
- 4.7.3 风冷式机组还须记录:
- a) 冷凝器进风干球温度;
 - b) 风机转速。
- 4.7.4 蒸发冷却式机组还需记录:
- a) 冷凝器进风湿球温度;
 - b) 风机转速;
 - c) 淋水装置水泵电动机输入功率;
 - d) 蒸发式冷凝器供水温度;
 - e) 蒸发式冷凝器供水质量流量。
- 4.7.5 试验结果
- a) 主要试验和校核试验的净制冷量(或制冷量);
 - b) 校核试验和主要试验的偏差(仅适用于水冷式机组);
 - c) 机组总输入功率;
 - d) 制冷性能系数(COP)。

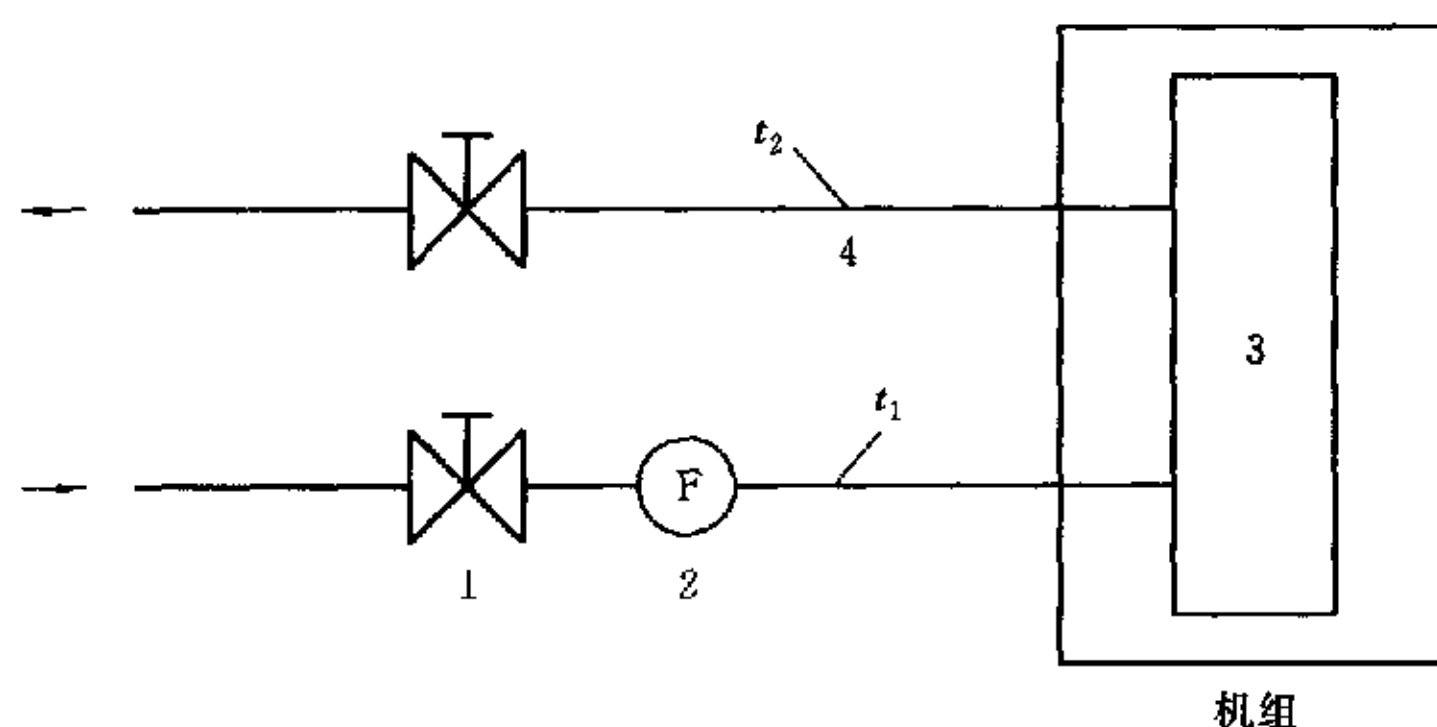
5 试验方法

5.1 液体载冷剂法

5.1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示,在机组蒸发器(冷凝器)冷(热)水进(出)口处安装有水量测量装置,进、出口处设置水量调节阀门。

试验时,还应有能提供连续稳定的冷水流量、冷却水流量和符合试验工况水温的附加装置。



1—流量调节阀;2—流量计;3—蒸发器(冷凝器);4—温度计

图 1

5.1.2 试验要求

5.1.2.1 冷(热)水和冷却水温度应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 中有关试验工况的要求。

5.1.2.2 冷(热)水进、出口温度和温度差以及流量的允许偏差应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

5.1.2.3 冷却水进、出口温度和温度差以及流量的允许偏差应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

5.1.2.4 电源的电压、频率应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

5.1.3 机组净制冷量

机组制冷量按式(1)计算:

$$Q_n = Cq_m(t_1 - t_2) + Q_c \quad \dots\dots\dots(1)$$

5.1.4 热泵制热量

热泵制热量按式(2)计算:

$$Q_h = Cq_m(t_2 - t_1) - Q_c \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: Q_n ——机组净制冷量, W;

C ——平均温度下水的比热容, J/(kg·°C);

q_m ——冷(热)水质量流量, kg/s;

t_1 ——蒸发器(热泵制热时为冷凝器,下同)冷(热)水进口温度, °C;

t_2 ——蒸发器(冷凝器)冷(热)水出口温度, °C;

Q_h ——热泵制热量, W;

Q_c ——环境空气传入干式蒸发器冷水侧的修正项, W。

对于满液式蒸发器,由环境空气传入制冷剂侧的热量不应计入净制冷量。

对于干式蒸发器,当其进行隔热时,式(1)和式(2)中的 Q_c 可忽略不计;无隔热时 Q_c 由式(3)确定:

$$Q_c = KA(t_a - t_m) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中: K ——蒸发器外表面与环境空气之间的传热系数, W/(m²·°C)[可取 $K=20$ W/(m²·°C)];

A ——蒸发器外表面积, m²;

t_a ——环境空气温度, °C;

t_m ——干式蒸发器(冷凝器)冷(热)水侧进、出口温度的平均值, °C。

在计算热泵制热量时, Q_c 由式(4)确定:

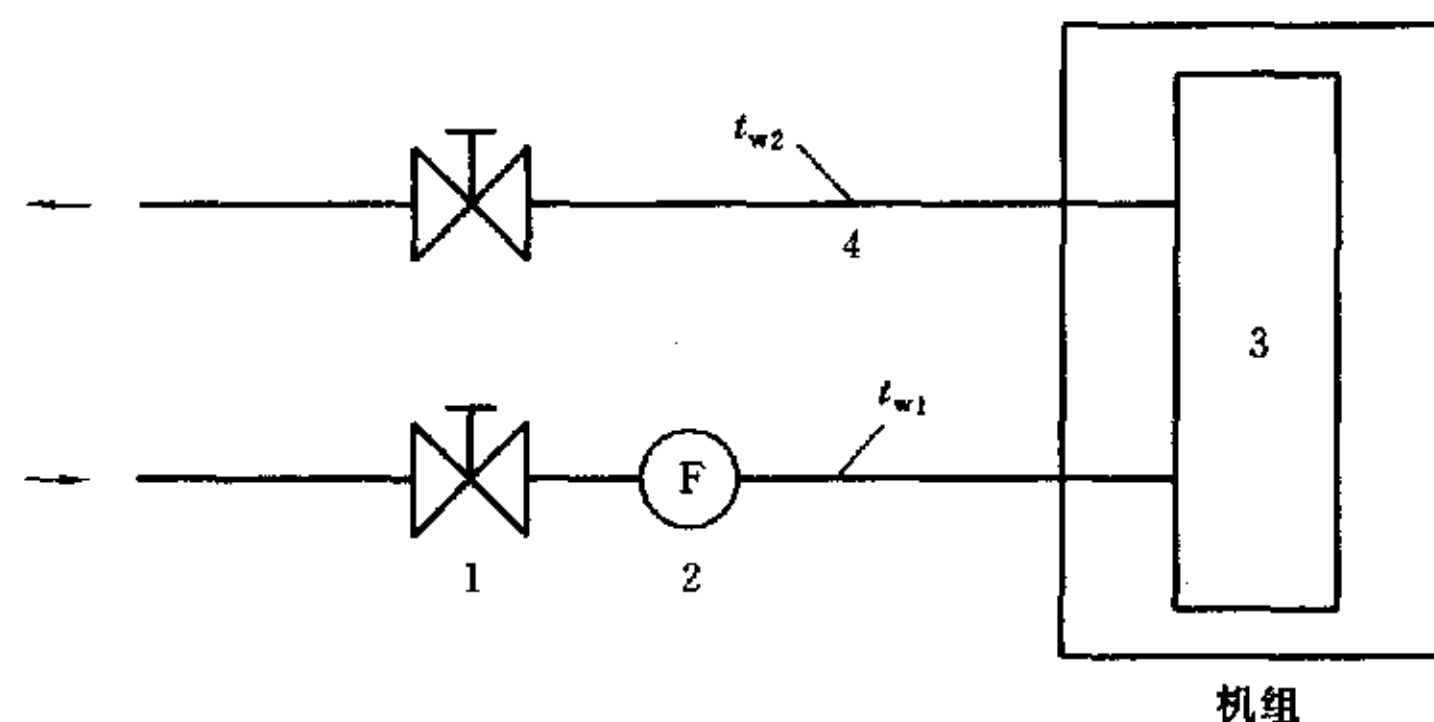
$$Q_c = KA(t_m - t_a) \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中符号意义同上。

5.2 机组热平衡法

5.2.1 试验装置

试验装置如图 2 所示,在机组冷凝器(以及油冷却器和压缩机气缸冷却水路等)冷却水进口处安装有水量测量装置,进、出口处设置水量调节阀门。



1—流量调节阀;2—流量计;3—冷凝器(蒸发器);4—温度计

图 2

5.2.2 试验要求

5.2.2.1 冷水和冷却水质量流量测量值的允许偏差应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

5.2.2.2 电源电压、频率和压缩机转速的允许偏差应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

5.2.3 机组净制冷量

机组净制冷量按式(5)计算:

$$Q_n = Q_1 + Q_2 - P - Q_c \quad \dots\dots\dots(5)$$

其中:

$$Q_1 = Cq_{mw}(t_{w2} - t_{w1}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$Q_2 = KA(t_r - t_a) \quad \dots\dots\dots(7)$$

5.2.4 热泵制热量

热泵制热量按式(8)计算:

$$Q_h = Cq_m(t_{w1} - t_{w2}) - Q_1 + P + Q_c \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中: Q_n ——机组净制冷量, W;

Q_1 ——排给冷却水〔指流经冷凝器(热泵制热量时为蒸发器)、油冷却器、压缩机气缸冷却水路等的冷却水〕的总热量, W;

q_{mw} ——冷却水(冷水)总质量流量, kg/s;

C ——平均温度下水的比热容, J/(kg·°C);

t_{w1} ——冷却水(冷水)进口温度, °C;

t_{w2} ——冷却水(冷水)出口温度, °C;

Q_2 ——冷凝器以及压缩机至冷凝器段的辅助设备(主要指油分离器、油冷却器, 其他管道可忽略不计)向环境空气放出(吸收)的总热量(应分别计算), W;

K ——上述辅助设备外表面与环境空气间的传热系数, W/(m²·°C)[可由式(13)或式(14)求得];

A ——上述辅助设备外表面积, m²;

t_r ——上述辅助设备外表面的平均温度(冷凝器为制冷剂饱和温度, 油冷却器为壳程介质进、出口温度的平均值), °C;

t_a ——环境空气温度, °C;

Q_h ——热泵制热量, W;

P ——水冷式机组的压缩机电动机、油泵电动机、电加热器等的输入功率, W;

Q_c ——环境空气传入满液式蒸发器热量的修正项, W。

蒸发器(冷凝器)进行隔热时, Q_c 可忽略不计; 无隔热时, Q_c 由式(9)确定:

$$Q_c = KA(t_a - t_m) \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中 K 、 A 、 t_a 的意义同式(3), t_m 为满液式蒸发器外表面的平均温度(即制冷剂饱和温度), °C。

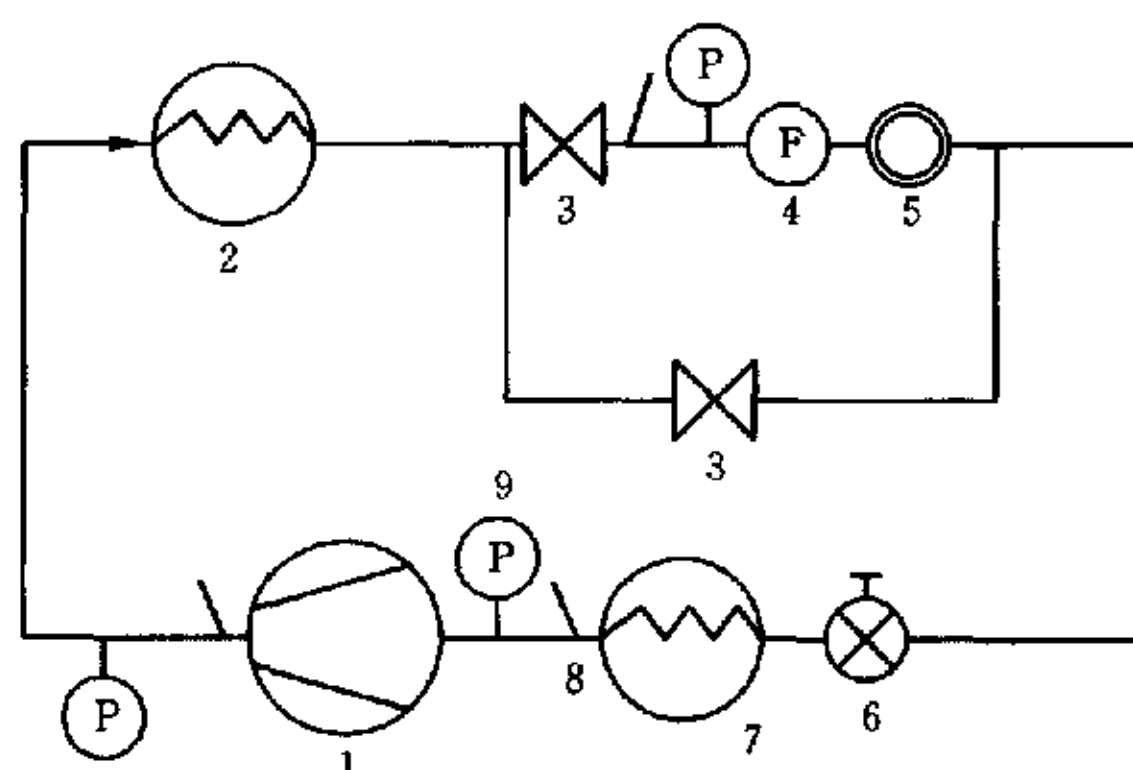
5.3 液体制冷剂流量计法

5.3.1 试验装置

试验装置如图 3 所示, 为测定机组循环中的制冷剂液体流量, 可使用积算式或指示式流量计。流量计安装在贮液器或冷凝器(无贮液器时)出液阀与节流阀之间的液体管道中。为观察制冷剂液体中是否含有气泡, 在紧接流量计后面安装一个玻璃窥镜。

流量计还应配置一旁通管道, 其中旁通管道上的截止阀和管路的阻力应和流量计的阻力大约相等。除了测量流量的时间以外, 旁通管道应是畅通的。

试验时, 还应提供为测量含油量而抽取制冷剂—油混合物样品的设备。



1—压缩机;2—冷凝器;3—截止阀;4—液体制冷剂流量计;
5—玻璃窥镜;6—节流阀;7—蒸发器;8—温度计;9—压力表

图 3

5.3.2 试验要求

5.3.2.1 为防止制冷剂在流量计中气化,进入流量计的制冷剂温度应至少比流量计出口压力对应的温度过冷 3℃,因而试验时还应记录以下附加数据:

- a) 流量计进口制冷剂液体温度;
- b) 流量计出口压力对应制冷剂饱和温度。

5.3.2.2 试验时,液体制冷剂容积流量的波动引起机组制冷量的变化应不超过 1%。

5.3.2.3 流量计应定期校正,校正液体的黏度为使用制冷剂黏度的 0.5~2 倍。校正时的流量用流量计刻度范围内的最小、中间、最大值等,至少进行三点。

5.3.3 机组制冷量

机组制冷量由式(10)计算:

$$Q_0 = \omega V \rho (h_2 - h_1) \quad \dots\dots\dots (10)$$

5.3.4 热泵制热量

热泵制热量按式(11)计算:

$$Q_h = \omega V \rho (h_1 - h_2) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中: Q_0 ——机组制冷量, W;

ω ——制冷剂和油的混合物中制冷剂与混合液的质量比(油循环率为 $1-\omega$);

V ——用制冷剂流量计测得的制冷剂和油混合物液体容积流量的测定值, m^3/s ;

ρ ——制冷剂流量测定位置的制冷剂液体密度, kg/m^3 ;

h_1 ——蒸发器(冷凝器)进口制冷剂比焓, J/kg ;

h_2 ——蒸发器(冷凝器)出口制冷剂比焓, J/kg ;

Q_h ——热泵制热量, W。

5.3.5 含油量的测定

制冷剂—油混合物液体含油量的测定按 GB/T 5773—1986 附录 A 的规定。

5.4 水冷冷凝器法

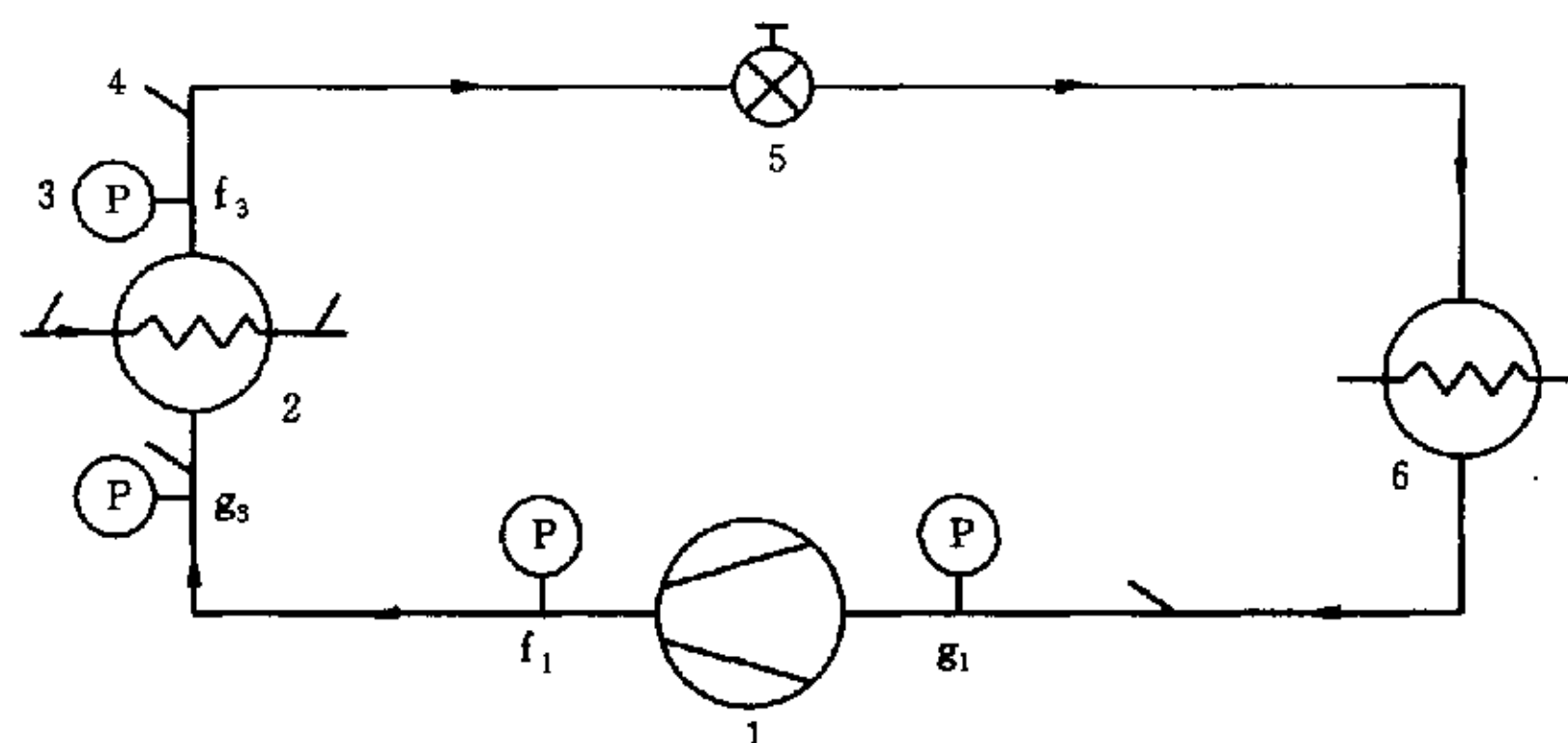
5.4.1 试验装置

试验装置如图 4 所示,水冷冷凝器是机组的一部分,按照本标准附录 A(标准的附录)的规定,应设置测量温度、压力和冷却水流量的仪表作为热平衡法的设备进行测量。

5.4.2 试验要求

5.4.2.1 冷却水流量的允许偏差应符合 JB/T 4329 或 JB/T 3355 的规定。

5.4.2.2 在环境温度 32℃ 下,冷凝器的漏热量应不超过冷水机组制冷量的 2%。



1—压缩机; 2—水冷冷凝器; 3—压力表; 4—温度计; 5—节流阀; 6—蒸发器

图 4

5.4.3 机组制冷量

机组制冷量由式(12)计算:

$$Q_0 = \frac{h_{g1} - h_{f1}}{h_{g3} - h_{f3}} [Cq_{mw}(t_{w2} - t_{w1}) + Q_s] \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: Q_0 ——机组制冷量, W;

h_{g1} ——压缩机吸入的制冷剂气体比焓, J/kg;

h_{f1} ——对应于压缩机排气压力的节流阀前制冷剂液体比焓, J/kg;

h_{g3} ——冷凝器进口的制冷剂气体比焓, J/kg;

h_{f3} ——冷凝器出口的制冷剂液体比焓, J/kg;

q_{mw} ——冷凝器冷却水质量流量, kg/s;

C ——平均温度下水的比热容, J/(kg·°C);

t_{w1} ——冷凝器冷却水进口温度, °C;

t_{w2} ——冷凝器冷却水出口温度, °C;

Q_s ——冷凝器漏热量的修正项, W。

冷凝器漏热量的修正值可正可负, Q_s 由式(13)确定:

$$Q_s = KA(t_1 - t_2) \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中: K ——冷凝器外表面与环境空气之间的传热系数, W/(m²·°C);

A ——冷凝器外表面面积, m²;

t_1 ——冷凝器外表面的平均温度(为制冷剂饱和温度), °C;

t_2 ——环境空气温度, °C。

冷凝器无隔热时, 可取 $K=7$ W/(m²·°C)。由于用近似方法确定, 因此其数值应远比冷凝器总传热量小, 如不能满足本标准 5.4.2.2 的规定时, 则应考虑将冷凝器隔热。冷凝器进行隔热时, 可采取平壁面传热公式近似计算 K 值, 见式(14):

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: α ——表面传热系数, W/(m²·°C);

δ ——隔热材料厚度, m;

λ ——隔热材料导热系数, W/(m²·°C)。

6 校核试验和主要试验的偏差

校核试验和主要试验之间的偏差, 由式(15)或式(16)计算:

$$\Delta = \frac{Q_n - Q_{n1}}{Q_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (15)$$

或

$$\Delta = \frac{Q_n - Q_0}{Q_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中： Δ ——校核试验和主要试验之间的偏差，%；

Q_n ——主要试验测量的机组净制冷量，W；

Q_{n1} ——校核试验测量的机组净制冷量，W；

Q_0 ——校核试验测量的机组制冷量，W。

7 机组总输入电功率

机组压缩机、油泵、风机和淋水装置水泵电动机等输入功率的测量和计算按附录 B(标准的附录)的规定。

8 制冷性能系数的评定

机组制冷性能系数(COP)由式(17)确定：

$$COP = \frac{Q_n}{N_0} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中： Q_n ——机组净制冷量，W；

N_0 ——机组总输入电功率，W。

附 录 A
(标准的附录)
测量仪表和精度的规定

A1 测量仪表和精度

测量仪表和精度按表 A1 的规定。

表 A1

| 分类 | 名 称 | 精度或准确度 |
|--------|-------------------------------------|--|
| 温度计 | 玻璃水银温度计、热电偶、电阻温度计、半导体温度计、温差计 | 制冷剂(液、气)温度: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 水温及水温温差: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 其他温度: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ |
| 压力表 | 弹簧管式压力表、压力传感器、U 型管压差计、水银柱大气压力计 | 压力或压差读数的 $\pm 1\%$ |
| 流量计 | 流量节流装置、液体流量计、流量计量容器 | 测量流量的 $\pm 2\%$ |
| 电气仪表 | 功率表(含指示式、积算式)、电流表、电压表、功率因素表、频率表、互感器 | 功率表: 指示式 0.5 级, 积算式 1 级; 电流表、电压表、功率因素表、频率表: 0.5 级; 互感器: 0.2 级 |
| 功率测量仪表 | 转矩转速仪、天平式测功计、标准电动机和其他测功仪表 | 测定轴功率的 $\pm 1.5\%$ |
| 转速测量仪表 | 转速计数器、转速表、闪光测频仪等 | 测定转速的 $\pm 1\%$ |
| 时间测量 | 秒表 | 测定经过时间的 $\pm 0.1\%$ |
| 质量测量 | 各类台秤、磅秤 | 测定质量的 $\pm 0.2\%$ |

A2 测量规定

A2.1 温度测量规定

A2.1.1 温度计套管采用薄壁钢管或不锈钢薄壁管, 垂直插入流体, 管径较小时可逆流向斜插或用测温管, 插入深度为二分之一管道直径。套管内注冷冻机油, 读数时不应拔出温度计。

A2.1.2 如可能, 在用于测量冷水、冷却水和制冷剂进、出口温差时, 应在每次读数之后, 交换进、出口温度计进行测量, 以提高测量准确度。

A2.1.3 环境温度的测量为距离换热器外表面 0.5 m, 高度为换热器中心位置处四个方向测量温度的平均值。

A2.2 压力测量规定

A2.2.1 用水银大气压力计测量大气压时, 读数应作温度修正, 或向当地气象部门询问大气压力值。

A2.2.2 U 型压差计的玻璃管内径不小于 6 mm。

A2.3 流量测量规定

A2.3.1 流量节流装置的设计、制造、安装和计算应按照 GB/T 2624 的规定。

A2.3.2 流量节流装置的压差读数应不小于 250 mm 液柱高度。

A2.4 电气测量规定

功率表测量值应在满量程的三分之一以上。用“两功率表”法或“三功率表法”测量三相交流电动机功率时,指示的电流和电压值应不低于功率表额定电压和电流值的 60%。

附录 B

(标准的附录)

压缩机、油泵、风机和淋水装置水泵输入功率的测量和计算

B1 适用范围

本附录适用于机组压缩机、油泵、风机和淋水装置水泵电动机输入功率和压缩机、油泵、风机和淋水装置水泵轴输入功率的测量和计算。

B2 电动机输入功率

压缩机、油泵、风机和淋水装置水泵电动机输入功率应在电动机输入线端测量。测量三相交流电动机输入功率采用“两功率表”法或“三功率表”法。测量仪表和精度按附录 A 的规定。

电动机输入功率由式(B1)计算

$$N = \sum P \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中: N ——电动机输入功率, W;

P ——每个电动机的功率表测得的功率, W。

B3 轴输入功率

压缩机、油泵、风机和淋水装置水泵轴输入功率的测量和计算应采用如下任一种方法。

B3.1 直接法

采用转矩转速仪直接测得轴的输入扭矩和转速。

B3.2 标准电动机法

根据测得的输入电流、电压、输入功率查电动机实测效率曲线,求得轴功率。

B3.3 天平式测功计法

轴功率由式(B2)计算:

$$N_z = \frac{GIn_1}{974} \quad \dots\dots\dots (B2)$$

式中: N_z ——轴输入功率, W;

G ——放在电动机定子外壳固定横杆上,用以平衡压缩机(或油泵、风机、淋水装置水泵)制动力矩的砝码质量, kg;

I ——砝码至电动机转子中心距离, m;

n_1 ——压缩机(或油泵、风机、淋水装置水泵)实际转速, r/min。

上述 B3.1~B3.3 测得的功率,对于带传动还应乘以 0.965。

B4 功率修正

必要时,开启式压缩机轴功率采用轴转速修正,封闭式压缩机输入功率采用电网频率修正。即:

$$N_c = N_z \frac{n}{n_1} \text{ 或 } N_c = N \frac{f}{f_1} \quad \dots\dots\dots (B3)$$

式中: N_c ——经转速修正的轴功率或频率修正的输入功率, W;

N_z ——压缩机轴输入功率, W;

n ——压缩机名义转速, r/min;

n_1 ——压缩机实际转速, r/min;

N ——电动机输入功率, W;

f ——电源额定频率, Hz;

f_1 ——电源实际频率, Hz。
