

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T XXXX—202X

磁悬浮离心式压缩机能效测试方法

Testing method of energy efficiency for
magnetic levitation centrifugal compressor

(征求意见稿)

202X - - 发布

202X - - 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言II

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语定义1

4 试验工况2

5 一般要求4

6 检测条件5

7 磁悬浮离心式制冷剂压缩机能效测试方法6

8 磁悬浮离心式空气压缩机能效测试方法17

9 试验报告20

附录 A（资料性附录）能效检测报告格式21

附录 B（资料性附录）机组测试数据转换示例22

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国风机标准化技术委员会联合工业和信息化部机械工业节能技术装备行业标准化工作组提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

磁悬浮离心式压缩机能效测试方法

1 范围

本标准规定了磁悬浮离心式压缩机的产品能效测试方法。

本标准适用于含尘量 $\leq 10\text{mg/m}^3$ 、输送介质为空气及其他无毒、无腐蚀性气体的磁悬浮离心式空气压缩机和以制冷剂作为压缩介质的磁悬浮离心式制冷剂压缩机的能效测试方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 150.4—2024 压力容器 第4部分：制造、检验和验收

GB/T 151—2014 热交换器

GB/T 1236—2017 工业通风机 用标准化风道进行性能试验

GB/T 2624.3—2016 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量第3部分

GB/T 5773—2016 容积式制冷剂压缩机性能试验方法

GB/T 9239.1—2006 机械振动 恒态（刚性）转子平衡品质要求 第1部分：规范与平衡允差的检验

GB/T 10870 蒸气压缩循环冷水（热泵）机组性能试验方法

GB/T 18430.1—2024蒸气压缩循环冷水（热泵）机组 第1部分：工业或商业用及类似用途的冷水（热泵）机组

GB 19153 容积式空气压缩机能效限定值及能效等级标准

GB/T 19577 冷水机组能效限定值及能效等级

GB/T 25442-2018 旋转电机（除牵引电机外）确定损耗和效率的试验方法

GB/T 25630 透平压缩机 性能试验规程

GB/T 1032-2023 三相异步电动机试验方法

GB/T 22669-2008 三相永磁同步电动机试验方法

JB/T 12325-2015 高出水温度冷水机组

JB/T 12843-2016 离心式制冷剂压缩机

JB/T 2977 工业通风机、透平鼓风机和压缩机 名词术语

JB/T 3165-1999 离心和轴流式鼓风机和鼓风机 热力性能试验

NB/T 47013 承压设备无损检测

JB/T 6443.1-2006 石油、化学和气体工业用轴流、离心压缩机及膨胀机-压缩机 第1部分：一般要求

3 术语定义

GB/T 10870、GB 19153和JB/T 12843界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁悬浮离心式制冷压缩机 **magnetic levitation centrifugal refrigeration compressor**

采用磁悬浮电机驱动（轴承支承）的离心式制冷剂压缩机。

注：包含驱动电机、变频器、轴承控制器等设备。

3.2

磁悬浮离心式空气压缩机 magnetic levitation centrifugal air compressor

采用由磁悬浮轴承支撑的离心式空气压缩机。

注：包含驱动电机、变频器、轴承控制器等设备。

3.3

机组容积流量 volume flow rate of packaged compressor

在空气压缩机机组标准排气位置的实际空气容积流量，换算到标准吸气位置的全温度、全压力及组分的状态。

3.4

压比 pressure ratio

压缩机或压缩级的绝对排气压力与绝对吸气压力之比。

3.5

制冷剂流量系数 refrigerant flow coefficient

压缩机的吸入体积流量与吸入声速之比。

注：声音在压缩机吸入气体截止中的传播速度。

3.6

压缩机总输入功率 compressor total input power

能够独立完成压缩机性能指标的系统功率，包含驱动电机功率、变频器功率、磁悬浮轴承及其控制器以及其他电气设备等功率。

注：供应商供货不带其他辅助设备的压缩机，以厂家推荐搭配的变频器功率为准。

3.7

比功率 specific power consumption

规定工况下，空气压缩机总输入功率与机组容积流量之比。

3.8

综合效率 overall compressor efficiency

压缩机各级定熵压缩功的总和与总输入功率之比。

3.9

马赫数 mach number

又称为Ma数，指气体的速度与压缩机内气体的当地声速之比，用符号Ma表示。

注：当地声速指在测试工况下，气体的声速。

4 试验工况

4.1 磁悬浮制冷剂压缩机试验工况

制冷剂压缩机的名义工况、部分负荷工况应按表1、表2的规定。

表 1 制冷剂压缩机名义工况/℃

工况	负荷	蒸发温度	冷凝温度	吸气温度	膨胀前的制冷剂液体过冷度 ^a
水冷低温制冷工况 ^b	100%	-8	35	-5	3
水冷名义制冷工况	100%	6	36	9	3
水冷数据中心工况	100%	14	36	17	3
水源热泵工况	100%	6	46	9	3
风冷机组工况	100%	6	50	11	5

注：
a 对于配用闪发器的多级压缩机，以“级间补气压力对应的饱和温度+3K”作为闪发器补气回路出口温度参数，补气压力由制造商设计时规定，制冷量以第一级补气压力相对应的制冷剂饱和温度下制冷剂液体理论比焓进行计算。
b 冰蓄冷机组应使用水冷低温制冷工况。

表 2 制冷剂压缩机部分负荷工况/℃

工况	负荷	蒸发温度	冷凝温度	吸气温度	膨胀前的制冷剂液体过冷度 ^a
水冷名义制冷工况	100%	6	36	9	3
	75%	6	31	9	3
	50%	6	26	9	3
	25%	6	21	9	3
水冷数据中心工况	100%	14	36	17	3
	100%	14	31	17	3
	100%	14	24	17	3
	50%	14	18	17	3
风冷机组工况	100%	6	50	11	5
	75%	6	44	11	5
	50%	8	38	13	5
	25%	10	32	15	5

注：
a 对于配用闪发器的多级压缩机，以“级间补气压力对应的饱和温度+3K”作为闪发器补气回路出口温度参数，补气压力由制造商设计时规定，制冷量以第一级补气压力相对应的制冷剂饱和温度下制冷剂液体理论比焓进行计算。

4.2 磁悬浮空气压缩机试验工况

磁悬浮离心式空压机的规定工况为：

- a) 吸气压力：0.1Mpa（绝对压力）；
- b) 吸气温度：20℃；
- c) 环境温度：为吸气温度20℃时所处的环境温度；
- d) 吸气相对湿度：50%-80%；
- e) 压缩机冷却水进水温度：20℃；
- f) 排气压力：铭牌额定排气压力，MpaG；
- g) 冷却水流量上限见表格1。

表 3 不同功率等级规定工况冷却水流量

功率等级kW	110	132	160	200
冷却水流量 kg/h	12500	15000	18100	22600
功率等级kW	250	315	355	400
冷却水流量 kg/h	28300	35600	40200	45300
功率等级kW	450	500	630	
冷却水流量 kg/h	51000	56600	71300	

5 一般要求

5.1 磁悬浮离心式制冷剂压缩机

- 5.1.1 压缩机试验装置应排除试验系统内的不凝性气体且确认没有制冷剂的泄漏。
- 5.1.2 压缩机试验装置的液体管道与吸气管道应隔热。
- 5.1.3 压缩机试验装置内、外表面应清洁，不应有油污等粘着物。
- 5.1.4 试验管道的截面积及表面要求应符合 JB/T 3165-1999 中 4.3 的规定。吸、出气试验管道上应分别设有供测量压力和温度的测量孔，压力、温度测量孔的位置应符合第 7 章的规定。
- 5.1.5 试验周期及数据采集要求、试验工况参数的允许偏差，按 GB/T 5773 的规定。
- 5.1.6 对于采用压缩机单体试验设备进行测试，制冷量试验应采用 7.2.1 中的两种试验方法，两种试验方法试验结果之间的偏差，按 GB/T 5773 的规定。
- 5.1.7 对于不具备压缩机单体试验设备的情况，可以选用整机测试方法进行试验，按 GB/T 18430.1-2024 执行，压缩机吸、排气压力和温度测点应安装在直管段上，并且满足以下要求：
 - a) 压缩机的吸气压力通过机组蒸发器的进出水温度和机组的液体膨胀阀进行调节。
 - b) 压缩机的排气压力通过机组冷凝器的进出水温度进行调节。
 - c) 压缩机的吸气温度通过机组的液体膨胀阀和蒸发器的进出水温度进行调节。
- 5.1.8 冷凝器出口过冷度通过液体膨胀阀进行调节，过冷度应 $\geq 2K$ 。
- 5.1.9 在按表 1 和表 2 规定的名义工况和部分负荷工况下规定的方法进行试验，测定制冷（热）量和输入功率。

5.2 磁悬浮离心式空气压缩机

- 5.2.1 压缩机整体布置合理，运行平稳可靠，并提供适当的操作空间。
- 5.2.2 压缩机外表不允许有尖刺或凸出的危险部位存在，否则应有明显的警示标识。
- 5.2.3 空压机的气路和水路系统应连接可靠、密封性好，不应有外泄现象。管路、电缆应布置整齐。
- 5.2.4 空压机应配备防喘振控制系统确保运转安全。
- 5.2.5 空压机机组中涉及到压力容器的设计、制造和检验应符合 GB/T 150—2024 的规定。
- 5.2.6 空压机中间冷却器，其设计、制造和检验应符合 GB/T 151—2014 的规定。
- 5.2.7 空压机吸气系统应有防止对空压机造成损坏的异物被吸入空压机内部的功能。
- 5.2.8 空压机中叶轮、壳体等关键零部件的无损检测应满足 NB/T 47013 中相应检测标准的最低质量等级要求。
- 5.2.9 空压机叶轮应作超速实验。每个叶轮都应进行超速试验，转速不低于最大连续转速的 115%，且持

续时间不少于 1 分钟。制造商认定为关键的叶轮尺寸（例如孔径、口环密封处直径和外径）应在每次超速试验前后进行测量。所有此类测量数据以及试验转速均应记录下来，并在试验后提交给买方审查。孔径或其他关键尺寸出现超出图纸公差永久变形的永久变形可能会成为拒收的原因。

5.2.10 转动元件中的主要零部件如转轴、叶轮都应按照 GB/T 9239.1—2006 规定的 G2.5 或更高等级要求做动平衡。

6 检测条件

6.1 磁悬浮离心式制冷剂压缩机

6.1.1 试验场地的大气压应为 98kPa~103kPa。

6.1.2 宜采用具有稳压功能的供电电源，除压缩机起动或停止瞬间外，电源应满足以下要求：

- a) 频率偏差不超出 $\pm 0.5\text{Hz}$ 的范围；
- b) 电压偏差不超出额定电压 $\pm 5\%$ 的范围。

6.1.3 单体压缩机试验用仪器仪表的相关要求应符合 GB/T 5773—2016 的规定，并经计量检验部门检定合格，在有效期内；整机测试用仪器仪表的相关要求应符合 GB/T 10870-2014 的规定，并经计量检验部门检定合格，在有效期内。

6.1.4 被试压缩机应按设计要求进行安装，并且不应进行影响制冷量和热泵制热量的构造改装。机组与试验装置连接完成，按照机组要求供电试运行，调整好制冷剂充注量，开始正式试验后，所有试验不应调整制冷剂充注量。

6.2 磁悬浮离心式空气压缩机

6.2.1 试验装置

实验装置应符合下列要求：

- a) 温度、压力测量装置及安装位置符合 JB/T 3165—1999 中 4.1 开式试验台的相关要求；
- b) 孔板、文丘里管和喷嘴结构尺寸参考 GB/T 2624.3—2006，进口集流器结构尺寸参考 GB/T 1236—2017。

6.2.2 输入功率

采用功率分析仪测量磁悬浮空气压缩机系统工作在规定工况下规定的额定压力和流量时，所需的总输入功率，总输入功率符合 3.3 条定义。

6.2.3 试验电源

6.2.3.1 电压波形

试验电源电压波形应符合 GB/T 1032—2023 中 5.2.1.1 规定。

6.2.3.2 电压系统对称性

三相电压系统对称性应符合GB/T 1032—2023中5.2.1.2规定。

6.2.4 功率分析仪

采用功率分析仪测量磁悬浮空气压缩机系统总功率、输入电压、输入电流、功率因数等。功率分析仪要求如表2所示。

表 4 功率分析仪最低精度和功能要求

技术性能	指标及精度
基本精度	≤0.05%
准确度指示（电压、电流）	≤0.1%读数+0.05%量程
采样频率	≥200kHz
FFT频谱带宽	≥100kHz
45-65Hz电压电流测量准确度	≤0.1%读数+0.05%量程
45-65Hz功率测量准确度	≤0.1%读数+0.05%量程

6.2.5 仪器仪表精度要求：

- 6.2.5.1 测量温度、压力、相对湿度、大气压力的仪器仪表精度要求符合 JB/T 3165-1999 中 4.9-4.13 相关要求。
- 6.2.5.2 流量测量仪器仪表精度要求符合 JB/T 3165—1999 中 4.8 的相关要求。

7 磁悬浮离心式制冷剂压缩机能效测试方法

7.1 压力、温度测点布置的要求

- a) 压缩机吸气压力为吸气管路上同一截面上沿圆周方向均布的 3 个取压孔测点数据的均值，或者在将 3 个压力测量孔连成环装通路后进行压力测量，取压孔所在截面与压缩机吸气法兰的直管段长度至少 0.6 m。
- b) 压缩机吸气温度为吸气管路上位于取压孔下游的、同一截面上沿圆周方向均布的 3 个测温孔测点数据的均值，每个测温孔与取压孔等距错开 60°，测温孔所在截面与取压孔所在截面的直管段长度至少 0.3 m。
- c) 压缩机排气压力为排气管路上同一截面上沿圆周方向均布的 3 个取压孔测点数据的均值，或者在将 3 个压力测量孔连成环装通路后进行压力测量，取压孔所在截面与压缩机排气法兰的直管段长度至少 0.3 m。
- d) 压缩机排气温度为排气管路上位于取压孔下游的、同一截面上沿圆周方向均布的 3 个测温孔测点数据的均值，每个测温孔与取压孔等距错开 60°，测温孔所在截面与取压孔所在截面的直管段长度至少 0.2 m。
- e) 吸、排气压力及温度测量点布置应满足图 1、图 2 的要求。同时，测量仪表插入深度为 1/3 管道直径。
- f) 3 个取压孔测点单独测量时，读取数据之间的相互允许偏差应不大于 1%，3 个测温孔测点读取数据之间的相互允许偏差绝对值应不大于 1.0℃。

- g) 压缩机性能试验装置的吸气管路中直管段的最小尺寸要求应符合表 3 的规定。
- h) 压缩机性能试验装置的排气管路中直管段的最小尺寸要求应符合表 4 的规定。
- i) 测量时，测点处马赫数应小于或等于 0.13。

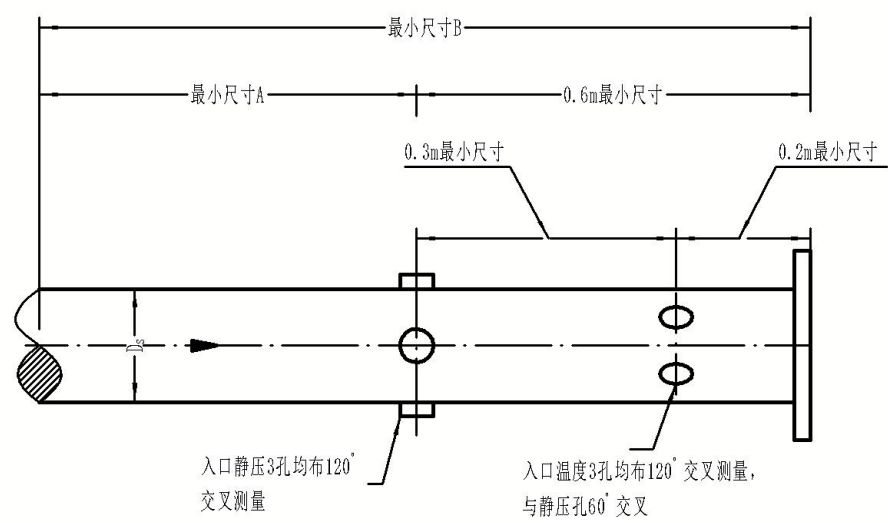


图 1 吸气压力及温度测量点布置

表 5 吸气管道中直管段最小尺寸要求

吸气管道测点前器件类型	最小尺寸	
	A	B
直管	2D	3D

注：D——压缩机性能试验装置吸气管路的内径，单位为米（m）。

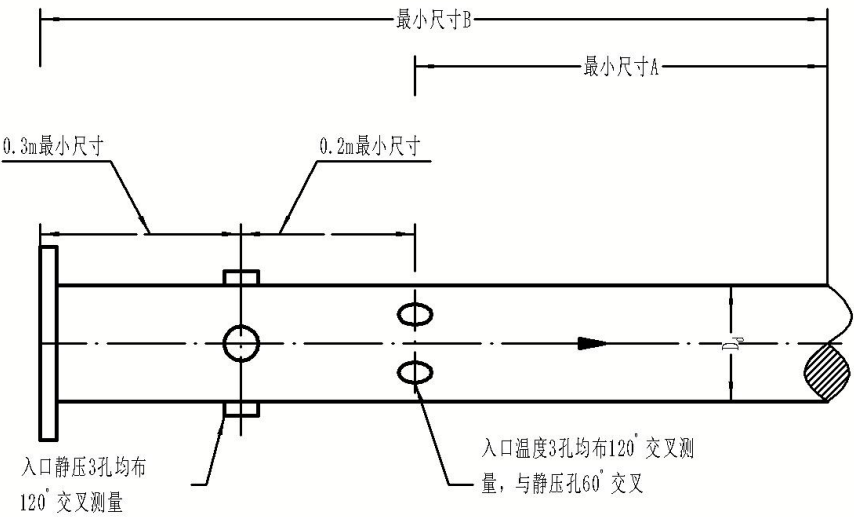


图 2 排气压力及温度测量点布置

表 6 排气管道中直管段最小尺寸要求

吸气管道	最小尺寸	
	A	B
直管段	2D	3D

注：D——压缩机性能试验装置排气管路的内径，单位为米（m）。

7.2 制冷（热）量和制冷（热）系数测试

7.2.1 试验方法种类

本文件规定了以下六种试验方法：
方法 D1：吸气管制冷剂气体流量计法；
方法 D2：排气管制冷剂气体流量计法；
方法 F：制冷剂液体流量计法；
方法 G：水冷冷凝器量热器法；
方法 J：制冷剂气体冷却法；
方法 K：压缩机排气管道量热器法。

7.2.2 试验方法 D1 和 D2：制冷剂气体流量计法

7.2.2.1 实验装置构造

制冷剂气体流量计是一个喷嘴或孔板式流量测量节流装置或质量流量计，由其测量气体制冷剂体积流量或质量流量。流量计安装在压缩机吸气侧（方法 D1）或排气侧（方法 D2）的管道上。

流量计若装设在压缩机吸气管道上，则制冷剂气体应过热均匀并且完全不带液滴地全部流经流量计。

为控制压缩机制冷剂吸气为低过热状态，方法 D1 制冷剂气体流量计后端管路上旁通连接一个制冷剂喷液支路[(b)路]。

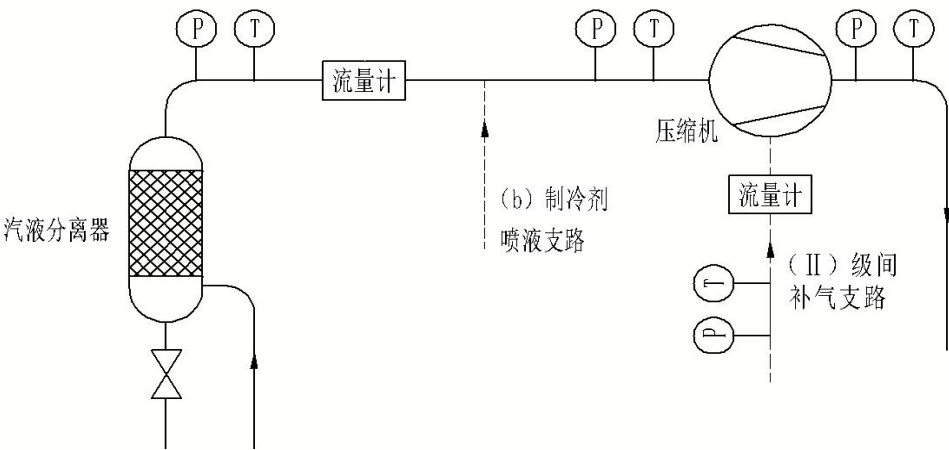


图3 方法D1（吸气管流量计法）多级压缩机试验装置示意图

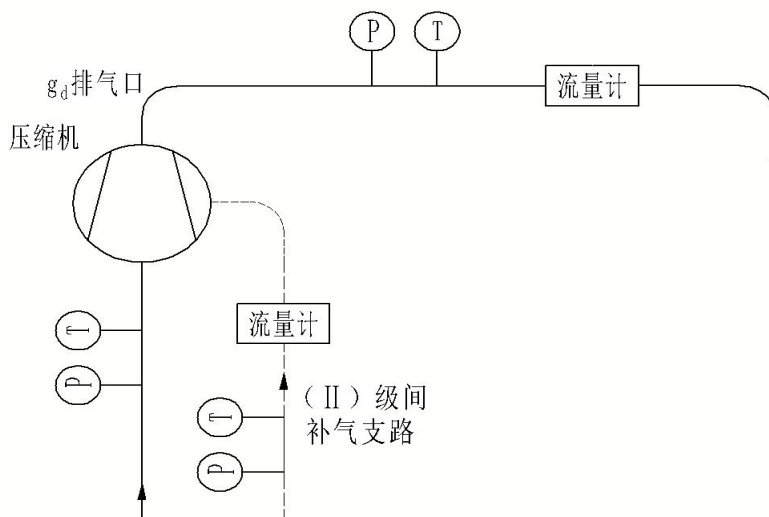


图4 方法D2（排气管流量计法）多级压缩机试验装置示意图

7.2.2.2 试验程序

压缩机的吸气压力由制冷剂气体调节阀调节或者由膨胀阀调节。

压缩机的排气压力通过改变冷凝器冷却水量或冷却水温度进行调节,也可由排气管道中压力控制阀调节。

压缩机的吸气温度由液体膨胀阀或者由蒸发器加热介质和制冷剂喷液支路制冷剂流量共同调节。

配用闪发器的压缩机测试时,补气回路膨胀前的制冷剂液体温度通过辅助过冷或加热装置进行调节。

按方法D1、D2要测的项目要求应至少包含以下内容:

- 流量计前的制冷剂气体压力、温度;
- 流量计的压差;
- 喷液支路制冷剂液体质量流量;
- 压缩机排气温度的;
- 多级压缩机闪发器补气回路出口的制冷剂压力;
- 多级压缩机闪发器补气回路出口的制冷剂质量流量;
- 电动机冷却支路、变频器及其箱体冷却支路的制冷剂质量流量。

7.2.2.3 制冷剂流量计算

由按方法D1试验测得的进入压缩机所在制冷循环蒸发器的制冷剂流量由式(1)计算得出。

$$q_{mf} = q_{mg} + q_{m0} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

q_{mf} ——由试验所测得的进入压缩机所在制冷循环中蒸发器的制冷剂质量流量,单位为 kg/s;

q_{mg} ——量热器或气体冷却器出口制冷剂质量流量,单位为 kg/s;

q_{m0} ——吸气管路喷射支路制冷剂质量流量,单位为 kg/s;

其中,规定工况下压缩机吸气管上的制冷剂气体流量由式(2)计算或直接测出。

$$q_{mg} = 1.11070 \cdot \alpha_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot d_1^2 \sqrt{\Delta p_1 \cdot \rho_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

α_1 ——吸气侧制冷剂气体流量节流装置工作状态下的流量系数;

ΔP_1 ——吸气侧制冷剂气体流量节流装置前后的压差，单位为 Pa；

ε_1 ——流体通过压缩机吸气侧制冷剂气体流量节流装置时的可膨胀性系数；

d_1 ——吸气侧制冷剂气体流量节流装置的孔径，单位为 m；

ρ_1 ——吸气侧制冷剂气体流量节流装置测量流量时相对应压力和温度下制冷剂的密度，单位为 kg/m³；

按方法 D1 试验测得的压缩机排气侧的制冷剂质量流量按公式（3）计算。

$$q_{md} = q_{mf} + q_{mi} + q_{mr} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

q_{md} ——由试验所测得的排出压缩机高压级排气口的制冷剂质量流量，单位为 kg/s；

q_{mi} ——闪发器补气回路出口的制冷剂质量流量，单位为 kg/s；

q_{mr} ——电动机冷却支路、变频器及其箱体冷却支路的制冷剂质流量，单位为 kg/s；

按方法 D2 试验测得的规定工况下压缩机排气侧制冷剂气体流量按公式（4）计算或直接测定。

$$q_{md} = 1.11070 \cdot \alpha_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot d_2^2 \sqrt{\Delta p_2 \cdot \rho_2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

α_2 ——排气侧制冷剂气体流量节流装置工作状态下的流量系数；

ΔP_2 ——排气侧制冷剂气体流量节流装置前后的压差，单位为 Pa；

ε_2 ——流体通过压缩机排气侧制冷剂气体流量节流装置时的可膨胀性系数；

d_2 ——排气侧制冷剂气体流量节流装置的孔径，单位为 m；

ρ_2 ——排气侧制冷剂气体流量节流装置测量流量时相对应压力和温度下制冷剂的密度，单位为 kg/m³；

按方 D2 试验测得的进入压缩机所在制冷循环蒸发器的制冷剂流量按公式（3）计算。

7.2.3 试验方法 F: 制冷剂液体流量计法

7.2.3.1 构造

制冷剂液体流量计为测定制冷循环中的制冷剂液体流量，可使用积算式或指示式流量计，制冷剂流量以容积或质量为单位。流量计安装在过冷器与膨胀阀之间的液体管道上。为了保证流量计在所有情况下精确测量，还应配置如下设备：

为防止制冷剂在流量计中气化，在其前面装一个制冷剂过冷器。在此，制冷剂由冷却水过冷。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视镜。

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与流量计的阻力大致相等。

除了测量流量的时间以外，旁通管道应是畅通的。

将温度测量点配置在过冷器和流量计的制冷剂液体进口处，以测量制冷剂液体温度。压力表安装在流量计的出口处。

为控制压缩机制冷剂吸气为低过热状态，压缩机吸气管路上旁通连接一个制冷剂喷液支路〔b〕路〕。

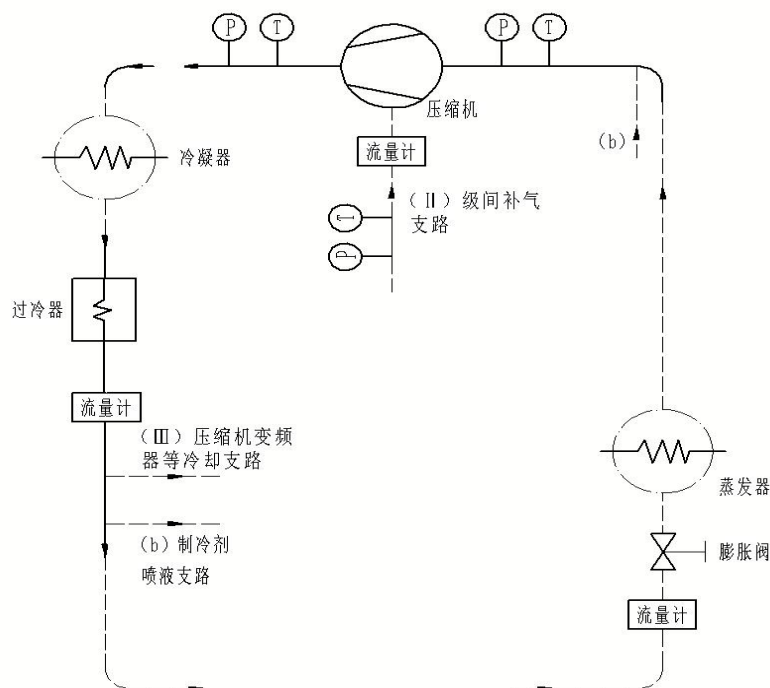


图5 多级压缩机方法F试验装置示意图

7.2.3.2 标定

流量计的标定按 GB/T 5773 的规定方法执行。

7.2.3.3 试验程序

打开旁通管道上的截止阀使系统运转，达到工况规定值后关闭截止阀，使制冷剂液体通过流量计。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饱和温度（或泡点温度）过冷 3℃。

按方法 F 要测的项目要求应至少包含以下内容：

- 主回路的制冷剂液体质量流量；
- 过冷器进口和流量计进口的制冷剂液体温度；
- 流量计出口压力对应的制冷剂饱和温度（或泡点温度）；
- 吸气管路喷射支路的制冷剂质量流量；
- 压缩机排气温度；
- 多级压缩机闪发器补气回路出口的制冷剂压力；
- 多级压缩机闪发器补气回路出口的制冷剂质量流量；
- 电动机冷却支路、变频器及其箱体冷却支路的制冷剂质量流量。

7.2.3.4 制冷剂流量计算

按方法 F 试验测得的进入压缩机所在制冷循环蒸发器的制冷剂流量按公式（5）计算。

$$q_{mf} = q_{m1} + q_{m0} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

q_{m1} ——液体质量流量，单位为 kg/s；

q_{m0} ——吸气管路喷射支路制冷剂质量流量，单位为 kg/s；

按方法 F 试验测得的流经压缩机排气侧的制冷剂质量流量按公式 (3) 计算。

7.2.4 试验方法 G: 水冷冷凝器量热器法

7.2.4.1 构造

水冷冷凝器是组成被试压缩机试验系统设备之一, 设置测量温度、压力和冷却水流量的仪表作为量热器。

作为量热器的冷凝器的漏热量应不超过压缩机制冷量的 5%。

为控制压缩机制冷剂吸气为低过热状态, 压缩机吸气管路上旁通连接一个制冷剂喷液支路[(b)路]。

该方法包含配用经济器或闪发器的压缩机, 试验装置示意图分别如下:

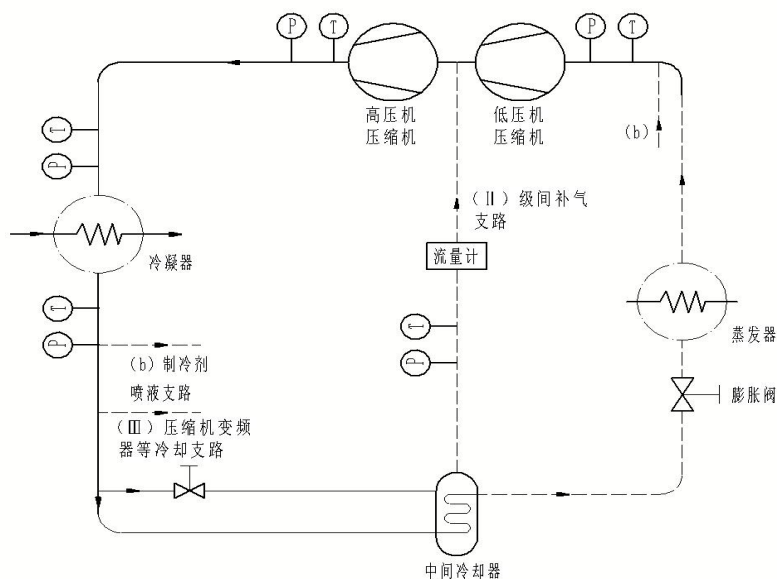


图 6 a) 配用经济器多级压缩机方法 G 试验装置示意图

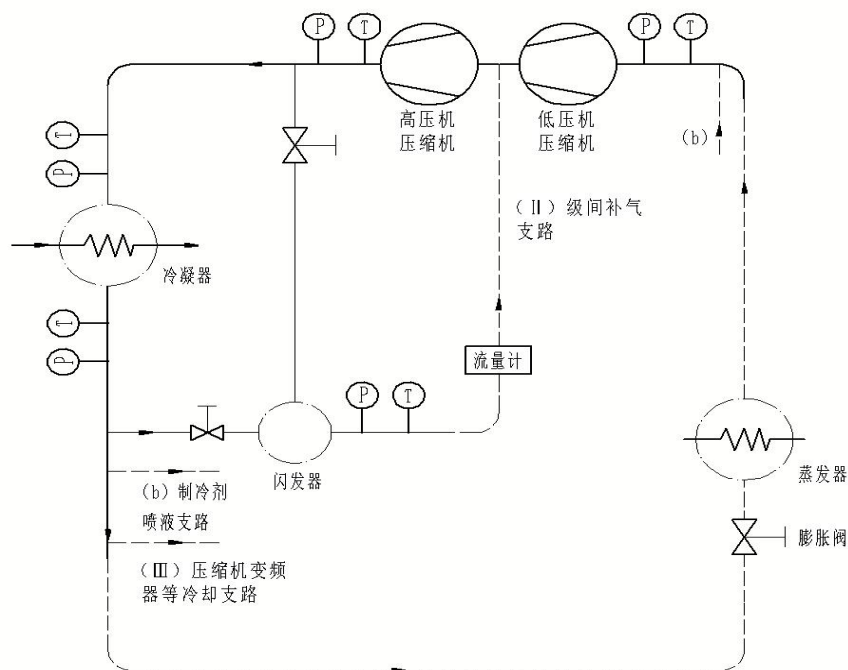


图 6 b) 配用闪发器多级压缩机方法 G 试验装置示意图

7.2.4.2 漏热量标定

漏热量的标定按 GB/T 5773 的规定方法执行。

7.2.4.3 实验程序

冷凝器压力通过改变冷却水量或温度进行调节。

按方法 G 要测的项目要求应至少包含以下内容：

- 冷凝器进口的制冷剂气体压力、温度；
- 冷凝器出口的制冷剂液体压力、温度；
- 冷却水的进、出口温度；
- 冷却水的流量；
- 冷凝器的环境温度；
- 吸气管路喷射支路的制冷剂质量流量；
- 压缩机排气温度；
- 闪发器补气回路出口的制冷剂压力；
- 闪发器补气回路出口的制冷剂质量流量；
- 电动机冷却支路、变频器及其箱体冷却支路的制冷剂质量流量。

7.2.4.4 制冷剂流量计算

按方法 G 试验测得的压缩机排气侧的制冷剂质量流量按公式 (6) 计算。

$$q_{md} = \frac{c(t_2 - t_1)q_{mc} + F_1(t_r - t_a)}{h_{g3} - h_{f3}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- q_{mc} ——冷却水的制冷流量，单位为 kg/s；
- c ——冷却水的比热容，单位为焦每千克开，单位为 J/(kg·K)；
- t_1 ——冷却水进口温度，单位为 K (°C)；
- t_2 ——冷却水出口温度，单位为 K (°C)；
- F_1 ——漏热系数，单位为 W/K；
- t_r ——制冷剂的平均饱和温度，单位为 K (°C)；
- t_a ——平均环境温度，单位为 K (°C)；
- h_{g3} ——进入冷凝器的制冷剂蒸气比焓，单位为 J/kg；
- h_{f3} ——离开冷凝器的制冷剂液体比焓，单位为 J/kg；

按方法 G 试验测得的流经压缩机所在制冷循环蒸发器的制冷剂流量按公式 (3) 计算。

7.2.5 试验方法 J: 制冷剂气体冷却法

7.2.5.1 构造

压缩机性能试验流程如图 7 所示。

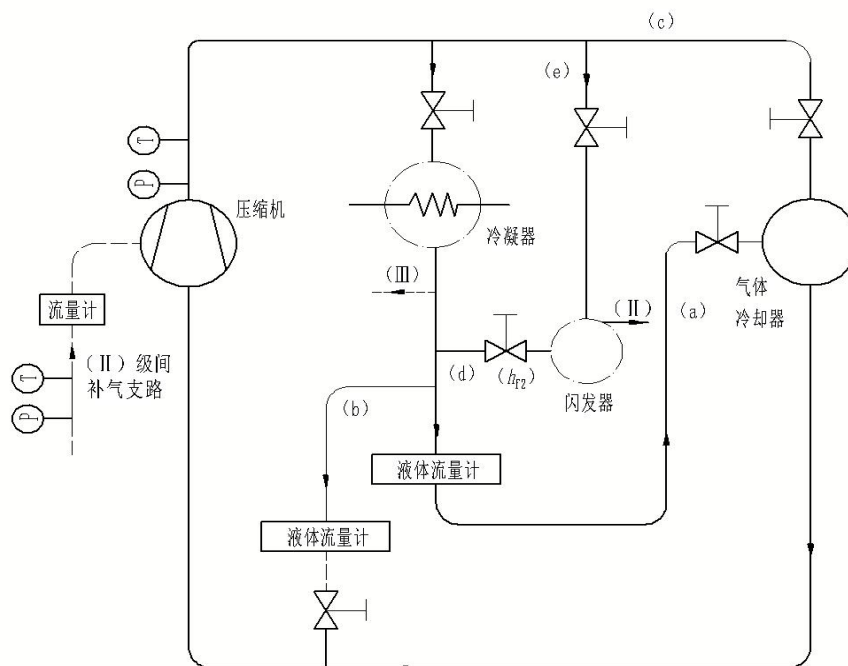


图 7 多级压缩机方法 J 试验装置示意图

压缩机性能试验时，高压侧制冷剂气体一部分进入冷凝支路冷却成液体，这部分液体制冷剂则分成若干路[(a)路、(b)路、(d)路和(III)路]。其中部分液体制冷剂由(d)路在一个闪发器中于中间压力下再蒸发，用以冷却另一支路[(e)路] 降压后进入闪发器的剩余循环蒸气；之后从闪发器出来的制冷剂混合蒸气进入压缩机补气口。

在对气体冷却器进行漏热量修正后，已冷凝的(a)路制冷剂质量和未冷凝的(c)路制冷剂质量之比等于进入气体冷却器的两股制冷剂蒸气比焓变化之比的倒数，据此计算出循环系统中气体冷却器出口的制冷剂流量。

气体冷却器通过一个手动或由排气压力自动控制的流量调节阀与压缩机排气管相连。冷凝器出口两个支路应有液体流量计，(a)支路流量计出口通过一个手动或自动调节的膨胀阀与气体冷却器相连；(b)支路流量计出口通过一个手动或自动调节的调节阀与气体冷却器出口管路相连，调节阀用以辅助调节吸气温度达规定值。

气体冷却器由一容器构成。冷凝支路中的制冷剂喷入其中，直接与来自压缩机排气管道的未冷凝制冷剂蒸气混合后再蒸发，从气体冷却器出来的制冷剂蒸气应不含制冷剂液滴。

气体冷却器应隔热，使其漏热量不大于其换热量的 5%。

7.2.5.2 漏热量标定

漏热量的标定按 GB/T 5773 的规定方法执行。

7.2.5.3 实验程序

经冷凝支路进入气体冷却器的制冷剂流量由该支路上气体冷却器入口的控制阀调节，使在气体冷却器中的制冷剂液体蒸发速度等于冷凝器中(a)路制冷剂的冷凝速度。冷凝压力可以通过排气管与冷凝器之间的压力控制阀调节，也可通过改变冷却水量、换热面积或冷却水温度进行调节。压缩机吸气压力由排气管路上的气体冷却器入口流量控制阀进行调节。压缩机吸气过热度由进入气体冷却器的液体流量控制阀和吸气管路上的制冷剂喷射流量调节阀进行组合调节。

配用闪发器的压缩机测试时，补气回路膨胀前的制冷剂液体温度通过辅助过冷或加热装置进行调节。

在达到试验工况所规定的吸、排气压力和吸气温度、闪发器出口的制冷剂气体压力、温度后，开始记录数据。

试验中，由制冷剂液体的流量波动所引起的制冷量计算值的变化应小于 1%。

按方法 J 要测的项目要求应至少包含以下内容：

- 气体冷却器出口的制冷剂气体压力、温度；
- 进入气体冷却器的膨胀前的制冷剂液体压力、温度；
- 气体冷却器入口的制冷剂气体压力、温度；
- 气体冷却器的表面温度；
- 气体冷却器的环境温度；
- 进入气体冷却器的被冷凝的制冷剂液体质量流量、温度；
- 吸气管路喷射支路的制冷剂质量流量；
- 压缩机排气温度；
- 闪发器补气回路出口的制冷剂压力；
- 闪发器补气回路出口的制冷剂质量流量；
- 电动机冷却支路、变频器及其箱体冷却支路的制冷剂质量流量。

7.2.5.4 制冷剂流量计算

按方法 J 试验测得的流经压缩机所在制冷循环中蒸发器的制冷剂质量流量按公式 (7) 计算。

$$q_{mf} = q_{mg} + q_{m0} \dots\dots\dots (7)$$

其中，按方法 J 试验测得的喷液支路前吸气侧的制冷剂气体质量流量按公式 (8) 计算。

$$q_{mg} = q_{m11} \left[1 + \frac{(h_{g5} - h_{f2}) - F_1(t_a - t_r)/q_{m11}}{h_{g4} - h_{g5}} \right] \dots\dots\dots (8)$$

式中：

q_{m11} ——进入气冷却器的被冷凝的制冷剂液体质量流量，单位为 kg/s；

h_{f2} ——进入气体冷却器的膨胀前的制冷剂液体比焓，单位为 J/kg；

h_{g4} ——进入气体冷却器的制冷剂蒸气比焓，单位为 J/kg；

h_{g5} ——离开气体冷却器的制冷剂蒸气比焓，单位为 J/kg；

t_r ——制冷剂的平均饱和温度，单位为 K (°C)；

t_a ——平均环境温度，单位为 K (°C)；

按方法 J 试验测得的流经压缩机排气侧的制冷剂质量流量由公式 (3) 计算得出。

7.2.6 试验方法 K: 压缩机排气管道量热器法

7.2.6.1 构造

在压缩机排气管道上，设置一使制冷剂气体全部流经的热交换器形型的量热器。

冷却（或加热）制冷剂气体要设置冷却（或加热）水回路。为了不使制冷剂气体在量热器中冷凝，则冷却水进口温度（加热时为出口温度）应高于压缩机排气压力对应的冷凝温度（或露点温度）10℃ 以上。

也可采用电加热制冷剂气体的方法。

压缩机吸气温度可采用气体过热度调节装置进行调节，如图 8 所示。

为了减少热量损失，量热器应予隔热。量热器的漏热量应不超过压缩机制冷量的 2%。

为控制压缩机制冷剂吸气为低过热状态，压缩机吸气管路上旁通连接一个制冷剂喷液支路[(b)路]。

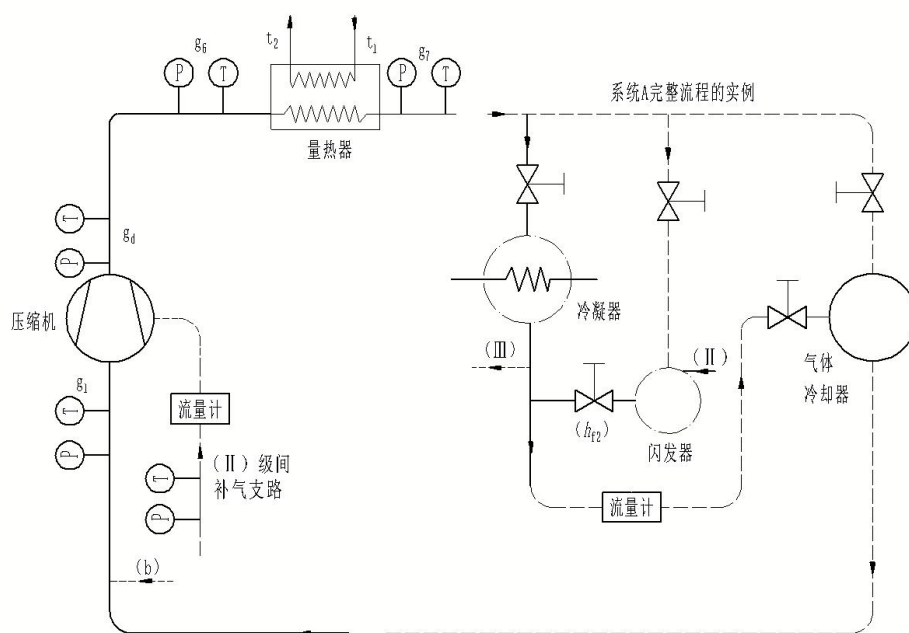


图8 多级压缩机方法K试验装置示意图

7.2.6.2 漏热量标定

漏热量的标定按 GB/T 5773 的规定方法执行。

7.2.6.3 实验程序

调节过程同方法J的规定。

按方法K要测的项目要求应至少包含以下内容：

- 量热器表面温度；
- 量热器进、出口的制冷剂气体压力、温度；
- 量热器环境温度；
- 冷却水（加热水）进、出口温度及流量；
- 量热器电加热量；
- 吸气管路喷射支路的制冷剂质量流量；
- 压缩机排气温度；
- 闪发器补气回路出口的制冷剂压力；
- 闪发器补气回路出口的制冷剂质量流量；
- 电动机冷却支路、变频器及其箱体冷却支路的制冷剂质量流量。

7.2.6.4 制冷剂流量计算

按方法K试验测得的压缩机排气侧的制冷剂质量流量按公式（9）计算。

$$q_{md} = \frac{c(t_2 - t_1)q_{mc} + F_1(t_c - t_a)}{h_{g6} - h_{g7}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

h_{g6} ——进入排气管道量热器的制冷剂蒸气比，单位为 J/kg；

h_{g7} ——离开排气管道量热器的制冷剂蒸气比焓，单位为 J/kg；
 t_c ——量热器的平均表面温度，单位为 K（℃）；
按方法 K 试验测得的流经压缩机所在制冷循环蒸发器的制冷剂流量由公式(3)计算得出

7.3 能效计算

能效计算应符合 GB/T 18430.1-2024 中 IPLV、COP 和 ACCOP 计算的规定。

7.4 能效等级指标

能效等级应符合 GB 19577-2024 要求。

8 磁悬浮离心式空气压缩机能效测试方法

8.1 性能试验需要测量的项目

- a) 吸气压力；
- b) 排气压力；
- c) 进口温度；
- d) 机组容积流量；
- e) 输入功率；
- f) 冷却水温度；
- g) 冷却水流量；

8.2 试验工况

磁悬浮空气压缩机的规定工况按本文件4.1规定。试验工况与规定工况的偏差不允许超出表3的范围。

表 3 试验工况条件与规定工况允许偏差

测量项目	偏差量
吸气压力	±1000 Pa
吸气温度	±10℃
入口流量	±2%
冷却水温度	±1℃
冷却水流量	不高于表1

8.3 压力测量位置

对于管道中的压力测量，在每个压力测量截面，应安装四个独立的仪器，测点位置围绕管道圆周以90度间隔进行测量，或将四个压力测量孔连接成环装通路后对平衡的压力值进行测量。压力仪表应与相邻温度测量位置呈45度角。仪表管尺寸应与取压孔尺寸相匹配。见图1。

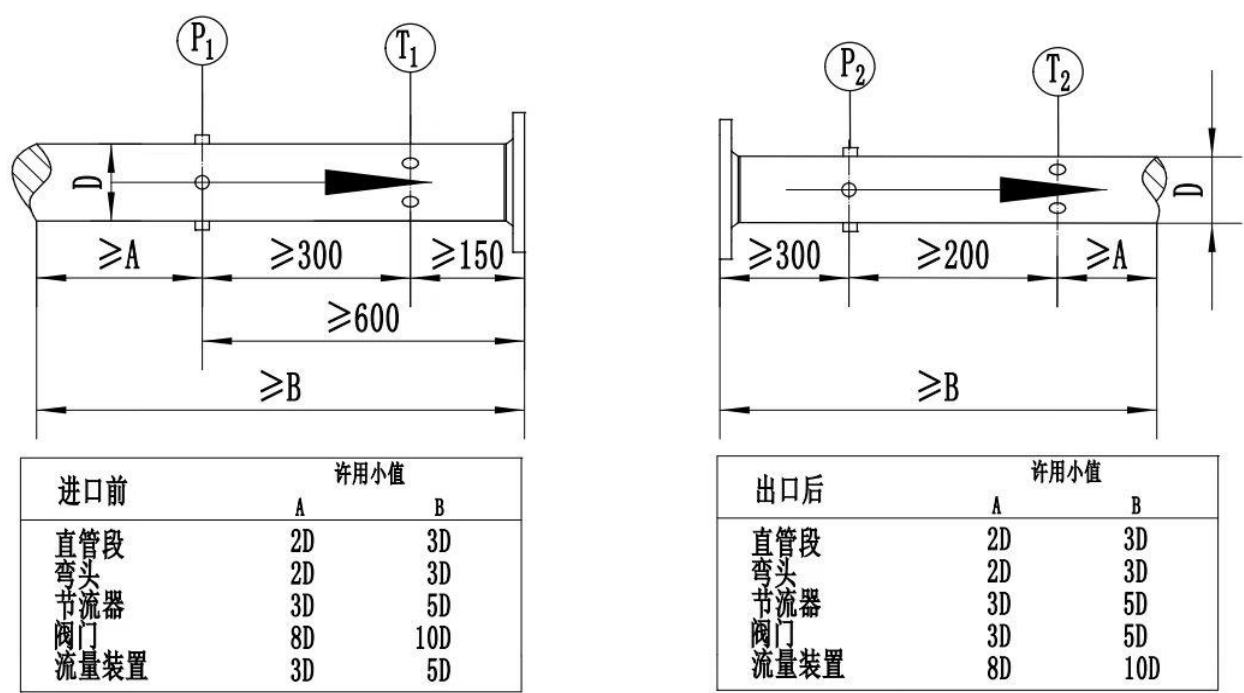


图 9 压力测量位置示意图

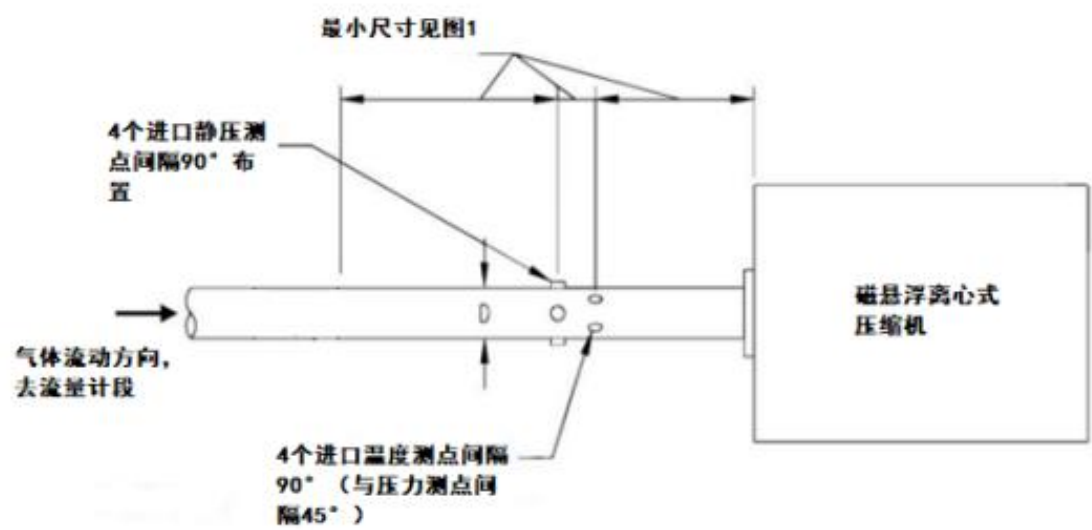


图 2 进气装置示意图

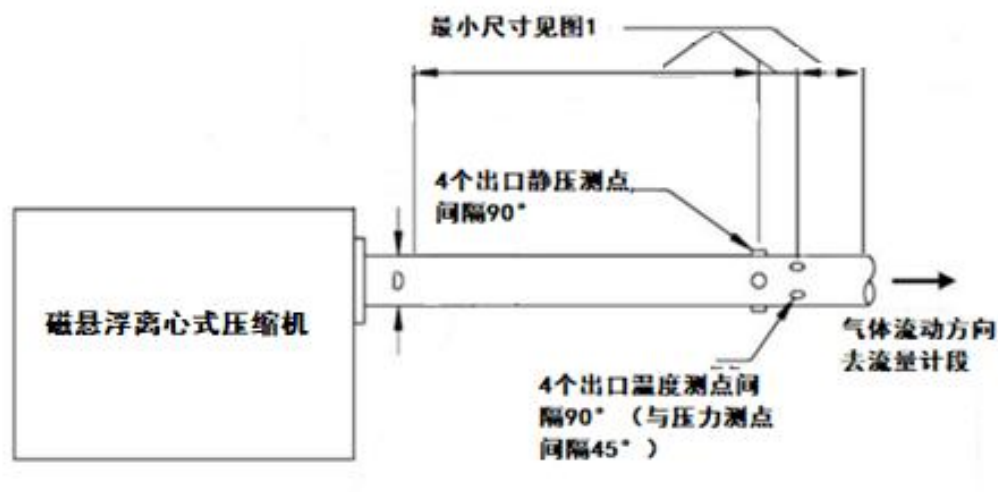


图3 出气装置示意图

8.4 温度测量

温度计安装位置及测量方法应满足JB/T 3165—1999中5.4的要求。

8.5 压力测量

压力计安装位置及压力测量方法应满足JB/T 3165—1999中5.5的要求。

8.6 流量测量

8.6.1 流量测量装置及测量方法应符合 GB/T 2624.1—2006、GB/T 2624.2—2006、GB/T 2624.3—2006、GB/T 2624.4—2006、GB/T 2624.5—2024、GB/T 2624.6—2024 的相关要求。

8.6.2 吸入气体中存有蒸汽可能会冷凝，排放冷凝液对容积流量的修正参考 GB/T 3853-2017 中 6.5.4 执行。

8.7 功率测量

采用符合5.2要求的功率分析仪直接测量磁悬浮空气压缩机系统总输入功率。

8.8 工况测量

机组应在满足 6.2 的规定工况下运行至铭牌排气压力，经检查证明机器运转及仪表工作正常 30 分钟以上再进行数据记录。

不同压力工况测量前，应以 2-3 分钟相等的间隔连续取 10 组以上读数，其读数结果应符合 JB/T 3165—1999 中 5.10.2 的要求。

8.9 试验结果的计算

8.9.1 机组比功率

磁悬浮离心式空气压缩机机组比功率按照以下公式计算：

$$e_v = \frac{K_1 \times W}{q_v} \dots\dots\dots (10)$$

式中：
 K_1 ——机组比功率吸气温度修正系数，无量纲；
 q_v ——规定工况下的机组容积流量，单位为立方米每分钟（m³/min）；
 e_v ——为机组比功率；
 W ——为试验条件下机组输入功率，单位为千瓦（kW）。

$$K_1 = \left(1 + \frac{1}{n_t} \left(\frac{293 - T_1}{293}\right)\right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 n_t ——为空气压缩机压缩级数；
 T_1 ——为空气压缩机吸气温度，单位为开尔文（K）。

9 试验报告

磁悬浮制冷剂压缩机能效测试报告内容应符合下列要求：

- a) 压缩机设计条件参数表（包含主要技术参数：制冷剂、最高工作压力、制冷（热）量、输入功率、能效等）；
- b) 试验结果汇总表；
- c) 试验现场图片。

磁悬浮制冷剂压缩机能效测试报告内容应 JB/T 3165—1999 中 7 试验报告的要求，格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)
能效检测报告格式

表 A.1 磁悬浮制冷剂压缩机能效测试报告

序号	检测项目	技术要求	额定值	规定值	检测结果	判定
1	名义工况 100%负荷制冷量, 单位: kW					合格
2	名义工况 100%负荷输入功率, 单位: kW					合格
3	名义工况 100%负荷制冷(热)性能系数, 单位: W/W					合格
4	名义工况 100%负荷平均电压, 单位: V					合格
5	名义工况 100%负荷平均电流, 单位: A					合格
6	名义工况 100%负荷吸气温度,单位: °C					合格
7	名义工况 100%负荷蒸发温度,单位: °C					合格
8	名义工况 100%负荷冷凝温度,单位: °C					合格
9	名义工况 100%负荷过冷度,单位: °C					合格

注：名义工况制冷量： 蒸发温度 6℃，冷凝温度 36℃，吸气过热度 3℃，过冷度 3℃。

表 A.2 磁悬浮空气压缩机能效测试报告

检验结果							
序号	检验项目	单位	保证值	检验值	偏差	容差	评定
1	容积流量	m³/min					
	进口压力	kPa (A)					
	输入功率	kW					
	比功率	kW/(m³/min)					

注：可根据技术报告内容修改报告格式

附录 B
(资料性附录)
机组测试数据转换示例

B.1 基本要求

采用机组作为试验设备对压缩机性能测试时，按GB/T 18430.1-2024执行，机组需满足以下条件：按GB/T 18430.1-2024执行。

压缩机工况转标准名义工况换算，基于以下前提条件：

- a) 机组应为水冷冷水机组
- b) 机组吸、排气管路上的马赫数应小于或者等于0.13
- c) 应可以测量压缩机吸气口的压力
- d) 应可以测量压缩机排气口的压力
- e) 应可以测量压缩机吸气口的温度
- f) 应可以测量机组蒸发器饱和压力
- g) 应可以测量机组冷凝器的饱和压力
- h) 应可以测量冷凝器出口制冷剂液体的压力和温度
- i) 应可以测量压缩机补气口的压力和温度
- j) 机组性能试验应包含主要试验方法和校核实验方法，并且主要试验和校核试验结果之间的偏差应在±4%以内。
- k) 蒸发器、冷凝器端温差0-2℃，保证制冷剂侧与水侧充分换热；
- l) 机组排气过热度≥3℃，避免吸气带液；
- m) 机组工况换算过程，默认综合效率不变；
- n) 换算过程默认压缩机内各级容积流量不变。
- o) 转速或频率保持不变

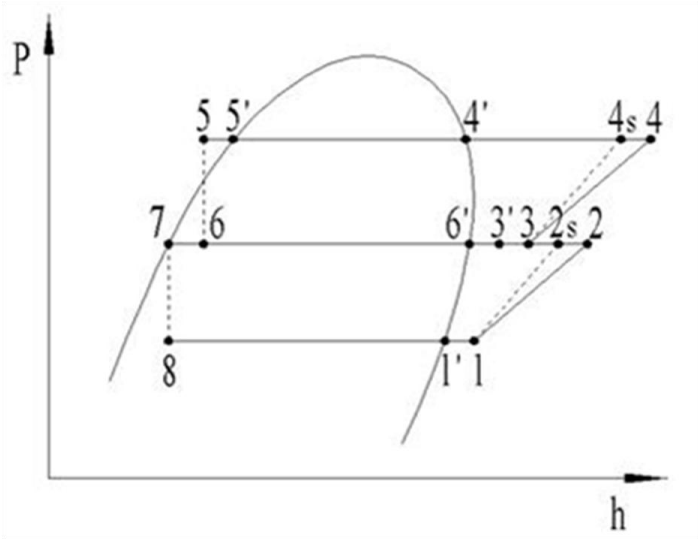
B.2 试验方法

参照 GB/T 10870 容积式和离心式冷水（热泵）机组性能试验方法，在被测机组蒸发器和冷凝器水循环管路上分别安装流量计、进出水水温传感器、水压传感器。

B.3 计算示例

制冷剂为 R134a，制冷量为 1300RT（4571kW），经济器为闪发式，双级补气循环的离心机组，在GB/T 18430.1-2024 水冷名义工况测试结果为例，按本标准工况的吸气温度和过冷度进行换算，过程如下（其它类型的循环，基于上述转换前提条件参照以下例子思路进行计算即可）。

B.3.1 制冷循环压焓图



图B. 1 制冷循环压焓图

B. 3. 2 实测数据输入

按表 B.1 要求输入离心机组实测数据。

表 B. 1 实测数据输入

	项目	符号	数值	单位	备注
实测 数据 输入	制冷量	Q	4571	kW	输入值
	总输入功率	P	725	kW	输入值
	冷凝压力	Pc	914.4	kPa	输入值
	蒸发压力	Pe	360.7	kPa	输入值
	冷凝器出液温度	T5	34	℃	输入值
	压缩机排气温度	T4	41	℃	输入值
	压缩机吸气温度	T1	6.5	℃	输入值
	压缩机排气压力	P4	921.9	kPa	输入值
	压缩机吸气压力	P1	357.0	kPa	输入值
	经济器压力	Pm	575	kPa	输入值

表B. 2 需要查表数据

项目	符号	数值	单位	备注
冷凝温度	Tc	36.1	℃	由 Tc 查 R134a 物性参数
蒸发温度	Te	5.9	℃	由 Te 查 R134a 物性参数
蒸发器饱和气体焓	h1'	402.01	kPa	由 Pe 查 R134a 饱和气体参数
蒸发器进口液体焓	h8	227.73	kPa	由 Pm 查 R134a 饱和液体参数
一级进气焓	h1	402.67	kJ/kg	由 P1 和 T1 查 R134a 物性参数
一级进气熵	S1	1.7272	kJ/ (kg • K)	由 P1 和 T1 查 R134a 物性参数
一级定熵压缩焓	h2s	412.55	kJ/kg	由 S1 和 Pm 查 R134a 物性参数
一级进气比容	v1	0.0575	m3/kg	由 P1 和 T1 查 R134a 物性参数
闪发器进口液体焓	h6	247.54	kJ/kg	由 Pc 和 T5 查 R134a 物性参数
闪发器出口饱和液体焓	h7	227.73	kJ/kg	由 Pm 查 R134a 饱和液体参数
闪发器出口饱和气体焓	h6'	409.85	kJ/kg	由 Pm 查 R134a 饱和气体参数
二级进气比容	V3	0.0363	m3/kg	由 Pm 和 h3 查 R134a 物性参数
二级进气熵	S3	1.7262	kJ/ (kg • K)	由 Pm 和 h3 查 R134a 物性参数

二级定熵压缩焓	h4s	422.14	kJ/kg	由 S3 和 P4 查 R134a 物性参数
一级进气比容 (转换)	v1cv	0.0582	m ³ /kg	由 P1 和 T1cv 查 R134a 物性参数
一级进气焓 (转换)	h1cv	404.96	kJ/kg	由 P1 和 T1cv 查 R134a 物性参数
一级进气熵 (转换)	S1cv	1.7353	kJ/(kg·K)	由 P1 和 T1cv 查 R134a 物性参数
一级定熵压缩焓 (转换)	h2scv	414.98	kJ/kg	由 S1cv 和 Pm 查 R134a 物性参数
闪发器进口液体焓	h6cv	246.22	kJ/kg	由 Pc 和 T5cv 查 R134a 物性参数
二级进气熵 (转换)	S3cv	1.7336	kJ/(kg·K)	由 Pm 和 h3cv 查 R134a 物性参数
二级定熵压缩焓 (转换)	h4scv	424.48	kJ/kg	由 S3cv 和 P4 查 R134a 物性参数

B.3.3 计算方法

过冷度按公式 (B.1) 计算。

$$\Delta T_{sc} = T_c - T_5 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

吸气过热度按公式 (B.2) 计算。

$$\Delta T_{sh} = T_1 - T_e \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

排气过热度按公式 (B.3) 计算。

$$\Delta T_{dh} = T_4 - T_c \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

蒸发器单位质量制冷量按公式 (B.4) 计算。

$$q = h_1' - h_8 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

一级单位质量定熵压缩功按公式 (B.5) 计算。

$$w_{1s} = h_{2s} - h_1 \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

一级质量流量按公式 (B.6) 计算。

$$m_d = Q/q \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

一级进气容积流量按公式 (B.7) 计算。

$$V_1 = m_d \cdot v_1 \cdot 3600 \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

一级定熵压缩功 (B.8) 计算。

$$W_{1s} = w_{1s} \cdot m_d \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

二级质量流量按公式 (B.9) 计算。

$$m_g = m_d \cdot (h_6' - h_7) / (h_6' - h_6) \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

二级进气焓按公式 (B.10) 计算。

$$h_3 = ((m_g - m_d) \cdot h_6' + m_d \cdot h_{2s}) / m_g \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

二级进气容积流量按公式 (B.11) 计算。

$$V_3 = m_g \cdot v_3 \cdot 3600 \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

二级单位质量定熵压缩功按公式 (B.12) 计算。

$$w_{2s} = h_{4s} - h_3 \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

二级定熵压缩功按公式 (B.13) 计算。

$$W_{2s} = w_{2s} \cdot m_g \quad \dots\dots\dots (B.13)$$

压缩机定熵压缩功的总和按公式 (B.14) 计算。

$$W_s = W_{1s} + W_{2s} \quad \dots\dots\dots (B.14)$$

综合效率按公式 (B.15) 计算。

$$\eta_{OA} = W_s / P \quad \dots\dots\dots (B.15)$$

根据工况表1要求, 吸气温度 $T_{1cv}=9^{\circ}\text{C}$, 过冷度 $\Delta T_{scv}=3^{\circ}\text{C}$ 。标准工况转换计算如下:

转换后的一级质量流量按公式 (B.16) 计算。

$$m_{dcv} = V_1 / (v_{1cv} \cdot 3600) \quad \dots\dots\dots (B.16)$$

转换后的一级单位质量定熵压缩功按公式 (B.17) 计算。

$W_{1scv} = w_{1scv} \cdot m_{dcv}$	.....	(B.17)
冷凝器出液温度按公式 (B.18) 计算。		
$T_{5cv} = T_c - \Delta T_{scv}$	.....	(B.18)
转换后的二级质量流量按公式 (B.19) 计算。		
$m_{gc v} = m_{dc v} \cdot (h_6' - h_7) / (h_6' - h_{6cv})$	.....	(B.19)
转换后的二级进气焓按公式 (B.20) 计算。		
$h_{3cv} = ((m_{gc v} - m_{dc v}) \cdot h_6' + m_{dc v} \cdot h_{2sc v}) / m_{gc v}$	.....	(B.20)
转换后的二级单位质量定熵压缩功按公式 (B.21) 计算。		
$w_{2sc v} = h_{4sc v} - h_{3cv}$	.....	(B.21)
转换后的二级定熵压缩功按公式 (B.22) 计算。		
$W_{2sc v} = w_{2s} \cdot m_{gc v}$	.....	(B.22)
转换后的压缩机定熵压缩功的总和按公式 (B.23) 计算。		
$W_{sc v} = W_{1sc v} + W_{2sc v}$	.....	(B.23)
转换后的机组制冷量按公式 (B.24) 计算。		
$Q_{cv} = m_{dc v} \cdot q$	.....	(B.24)
转换后的机组制冷量按公式 (B.25) 计算。		
$P_{cv} = W_{sc v} / \eta_{OA}$	.....	(B.25)
机组标准工况性能按公式 (B.26) 计算。		
$COP_{cv} = Q_{cv} / P_{cv}$	.....	(B.26)