



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

磁悬浮气体机械能效检测方法

Energy efficiency testing method for maglev gas machinery

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测量仪器仪表要求 2

 4.1 一般要求 2

 4.2 仪器仪表精度 2

 4.3 流量测量仪器 3

5 检测要求 3

 5.1 一般要求 3

 5.2 气体条件 3

 5.3 检测工况 4

 5.4 检测装置安装 4

6 检测方法 4

 6.1 输入功率测量 4

 6.2 流量测量 4

7 能效指标计算 4

 7.1 流体单位质量功计算 5

 7.2 输出功率计算 5

 7.3 磁悬浮气体机械能效 5

附录 A（资料性） 单位质量功的计算 6

参考文献 8

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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国磁悬浮动力技术基础与应用标准化工作组（SAC/SWG28）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

磁悬浮气体机械能效检测方法

1 范围

本文件描述了磁悬浮气体机械能效检测的测量仪器仪表要求、检测要求、输入功率及气体参数的测量方法，以及单位质量功、输出功率及系统效率等能效指标的计算方法。

本文件适用于装备主动磁悬浮轴承的高速电机作动力、以气体为工质、气体无相变、单级或多级的磁悬浮气体机械能效指标的检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 1236—2017 工业通风机 用标准化风道性能试验
- GB/T 2624（所有部分） 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量
- GB/T 13929—2024 水环真空泵和水环压缩机 试验方法
- GB/T 25630—2010 透平压缩机 性能试验规程
- GB/T 46078 磁悬浮动力技术 术语
- JB/T 3165 离心和轴流式鼓风机和压缩机热力性能试验

3 术语和定义

GB/T 46078界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁悬浮气体机械 **maglev gas machinery**
装备磁悬浮轴承，并以气体为工作介质进行能量转换的流体机械。
注：气体压缩过程中不发生相变。

3.2

质量流量 **mass flow rate**
 q_m
单位时间内通过规定风道截面的空气质量对时间的平均值。
注：除泄漏外，质量流量在磁悬浮气体机械流体管道内的各个截面上是相同的。
[来源：GB/T 1236—2017，3.25，有修改]

3.3

容积流量 **volume flow rate**
体积流量
 q_v
某截面的质量流量除以该截面测量时间内密度对时间的平均值。
注：容积流量的单位为立方米每秒（ m^3/s ），按公式（1）计算：

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \cdots \cdots (1)$$

式中：

ρ ——某截面测量时间内密度对时间的平均值，单位为千克每立方米（kg/m³）。

3.4

单位质量功 unit mass work

比能 specific energy

W_m

单位质量气体所消耗的能量。

注：单位质量功的单位为焦耳每千克（J/kg），理想状态下，不考虑摩擦等影响因素。单位质量功按公式（2）计算：

$$W_m = W_n + W_v + W_H \cdots \cdots (2)$$

式中：

W_n ——气体的涡轮压缩功， $W_n = \int_1^2 V dp$ ，单位为焦耳每千克（J/kg）；

W_v ——气体动能变化量， $W_v = \frac{v_{m2}^2 - v_{m1}^2}{2}$ ，单位为焦耳每千克（J/kg）；

W_H ——气体位能变化量， $W_H = g(H_2 - H_1)$ ，单位为焦耳每千克（J/kg）。

V ——单位质量气体的体积，单位为立方米（m³）；

p ——气体压力，单位为帕（Pa）；

v_{m1} ——气体进口平均流速，单位为米每秒（m/s）；

v_{m2} ——气体出口平均流速，单位为米每秒（m/s）；

g ——重力加速度，单位为米每二次方秒（m/s²）；

H_1 ——进口高度，单位为米（m）；

H_2 ——出口高度，单位为米（m）。

3.5

输入功率 input power

P_e

从电网获得的磁悬浮气体机械运行总功率。

3.6

输出功率 output power

P_u

单位时间内磁悬浮气体机械传递给流经气体的功。

4 测量仪器仪表要求

4.1 一般要求

4.1.1 所有测量仪器仪表应定期检定或校准合格。

4.1.2 所选仪器、仪表的量程宜使测试值在该仪器量程的 1/3～2/3 之间。

4.1.3 测试仪器应按照制造商提供的说明文件进行操作。

4.2 仪器仪表精度

磁悬浮气体机械能效检测仪器或设备精度应符合表1规定。

表1 检测仪器或设备精度

项目	检测仪器和设备	精度
电参数	功率表或电参数测量仪	±0.2% FS
转速	数字式转速仪、闪频式转速仪	±0.2%
温度	温度计、热电偶、电阻温度计或热敏电阻	±0.5 K
湿度	干湿球法、通风干湿表、温湿度计等	±0.5%
压力	数字式测量仪表、压力变送器等	±0.5% FS
大气压力	空盒气压表	±0.15% FS

4.3 流量测量仪器

- 4.3.1 推荐采用流量测量节流元件（孔板、文丘里管和喷嘴）上、下游取压口的差压来确定流量。也可采用涡街流量计等，其精度不低于±1.5%。
- 4.3.2 孔板、文丘里管和喷嘴结构尺寸规定及测量方法见 GB/T 2624。

5 检测要求

5.1 一般要求

- 磁悬浮气体机械能效检测的一般要求如下：
- a) 检测前应检查气体管路，不应有泄漏情况。
 - b) 应在规定工况下，运转稳定后进行检测。
 - c) 测量过程中应避免振动、电磁干扰等影响。
 - d) 测量截面应选在直管段，避免弯头、阀门等干扰。
 - e) 温度、压力测点应尽量靠近，位于同一截面。
 - f) 流量测量装置前后应有足够直管段长度。
 - g) 磁悬浮气体机械能效检测中各关键参数（包括电功率、流量、压力、温度及转速等）的测量应同步进行，或在系统稳定运行的同一工况下完成测量。

5.2 气体条件

- 5.2.1 试验介质应为空气，试验结果应换算到表 2 规定的标准气体状态。

表2 不同类型气体机械的标准气体状态

气体机械	大气压力	温度	相对湿度
磁悬浮通风机	101 325 Pa	20 °C	50%
磁悬浮鼓风机			0%
磁悬浮空气压缩机			0%
磁悬浮负压风机（粗真空泵）			70%
注：磁悬浮气体机械标准气体状态来源于GB/T 1236—2017、JB/T 3165、GB/T 13930—2024。			

- 5.2.2 空气介质可按理想气体处理。当试验时的气体状态（大气压力、温度、湿度）与表 2 规定的标准气体状态不符时，应将测量的流量、功率等参数换算到标准气体状态下的值。标准气体状态的换算采用气体状态方程，可按公式（3）计算：

$$pV = mRT \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

- p ——气体压力，单位为帕（Pa）；
- V ——气体体积，单位为立方米（ m^3 ）；
- m ——气体质量，单位为千克（kg）；
- R ——气体常数，单位为焦耳每千克开尔文 [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]；
- T ——气体温度，单位为开尔文（K）。

5.3 检测工况

测量应在磁悬浮气体机械稳定运行于额定工作点或合同各方商定的实际运行工作点下进行。

注：磁悬浮气体机械实际运行点为装备的流量/压力曲线与管网流量/压力曲线的交点。

5.4 检测装置安装

- 5.4.1 磁悬浮通风机检测装置按 GB/T 1236—2017 的规定安装。
- 5.4.2 磁悬浮鼓风机检测装置按 JB/T 3165 的规定安装。
- 5.4.3 磁悬浮空气压缩机检测装置按 GB/T 25630—2010 的规定安装。
- 5.4.4 磁悬浮负压风机（粗真空泵）检测装置按 GB/T 13929—2024 的规定安装。

6 检测方法

6.1 输入功率测量

6.1.1 输入电功率 P_e 测量点为磁悬浮气体机械的空气开关的输入端子，测量包括主动磁悬浮轴承控制器与电机变频器，不包括测量仪表的供电。磁悬浮气体机械输入功率如图 1 所示。

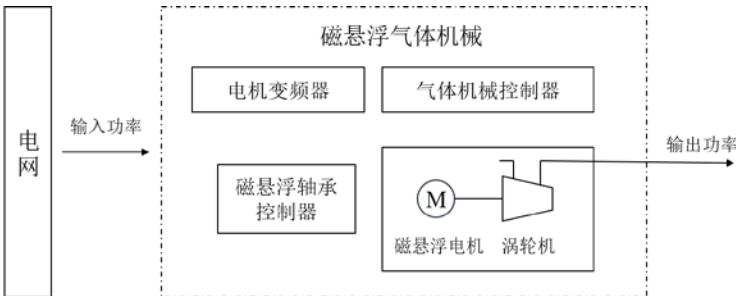


图1 磁悬浮气体机械输入功率示意图

- 6.1.2 根据电源输入方式，磁悬浮气体机械的输入功率采用二瓦特计法或三瓦特计法进行测量。
- 6.1.3 测量仪表的配置符合以下要求：
 - a) 对于三相三线制接入系统：2 只单相仪表或 1 只两相仪表；
 - b) 对于三相四线制接入系统：3 只单相仪表或 1 只三相仪表。

6.2 流量测量

- 6.2.1 流经磁悬浮气体机械的气体质量流量 q_m 优先在出口管道上直接测量。也可在进口管道上测量，测量时保证检测设备无泄漏。
- 6.2.2 同时记录流量测量截面处的气体压力和温度，用于密度换算和状态修正。

7 能效指标计算

7.1 流体单位质量功计算

流体单位质量功（ W_m ）由涡轮压缩功、流体动能变化量与流体位能变化量组成，其计算公式如表3所示：

表3 流体单位质量功计算公式

出口压力 (表压)	基准过程	过程指数	过程方程	涡轮压缩功 W_n	动能 W_v	位能 W_H
$\leq 30\text{ kPa}$	—	—	—	$\frac{p_2 - p_1}{\rho_m}$	$\frac{v_{m2}^2 - v_{m1}^2}{2}$	$g(H_2 - H_1)$
$> 30\text{ kPa}$	定容	∞	$V=C$	$V(p_2 - p_1)$		
	定压	0	$p=C$	0		
	定温	1	$pV=C$	$p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ 或 $p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$ 或 $RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ 或 $RT \ln \frac{p_1}{p_2}$		
	等熵	k	$pV^k=C$	$\frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$ 或 $\frac{k}{k-1} R Z_1 T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$		
	多变	n	$pV^n=C$	$\frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$ 或 $\frac{n}{n-1} R Z_1 T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$ 或 $R Z_m (T_2 - T_1) \frac{\ln(p_2/p_1)}{\ln(T_2/T_1)}$		
注1：等熵指数（绝热指数或热容比），$k=c_p/c_v$，c_p——定压热容，c_v——定容热容。 注2：多变过程指数n，可由公式$n = \frac{\ln(p_2/p_1)}{\ln(V_1/V_2)} = \frac{\ln(p_2/p_1)}{\ln(p_2/p_1) - \ln(T_2/T_1)}$导出，其中$n \neq 0$、$n \neq 1$和$n \neq \infty$。 注3：$Z$——气体压缩性系数。 注4：角标1——进口值，角标2——出口值，角标m——平均值。 注5：磁悬浮通风机单位质量功W_{mT}，磁悬浮压缩（膨胀）机械单位质量功W_{mY}具体计算公式参考附录A。						

7.2 输出功率计算

磁悬浮气体机械输出功率 P_u 按公式（4）计算：

$$P_u = q_m W_m \dots\dots\dots (4)$$

式中：
 q_m ——质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；
 W_m ——单位质量功，单位为焦耳每千克（J/kg）。

7.3 磁悬浮气体机械能效

磁悬浮气体机械效率 η 作为能效指标按公式（5）计算：

$$\eta = \frac{P_u}{P_e} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 P_u ——输出功率，单位为瓦特（W）；
 P_e ——输入功率，单位为瓦特（W）。

附录 A (资料性) 单位质量功的计算

A.1 磁悬浮通风机单位质量功计算

磁悬浮通风机单位质量功的计算见公式 (A.1) 与公式 (A.2)：

$$W_{mT} = \frac{p_2 - p_1}{\rho_m} + \alpha_{A2} \frac{v_{m2}^2}{2} - \alpha_{A1} \frac{v_{m1}^2}{2} + g(H_2 - H_1) \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\alpha_{Ax} = \frac{\iint_{Ax} (\rho v_n v^2) dAx}{q_m v_{mx}^2} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

W_{mT} ——磁悬浮通风机的单位质量功，单位为焦耳每千克 (J/kg)；

ρ_m ——进口和出口气体密度的算术平均值，单位为千克每立方米 (kg/m³)；

α_{A2} ——出口截面的动能系数；

α_{A1} ——进口截面的动能系数；

v ——就地绝对速度，单位为米每秒 (m/s)；

v_n ——就地垂直于截面的速度，单位为米每秒 (m/s)。

注1：气体流动均匀时，通常取 $\alpha_{Ax} = 1$ 。

注2：由于气体的比重很小，忽略气体的位能变化量 $g(H_2 - H_1)$ 。

注3：当进出口流体平均速度差较大时，动能变化量计入单位质量功。

A.2 磁悬浮压缩（膨胀）机械单位质量功的计算

A.2.1 概述

在 0℃~200℃ 的温度范围及 0~2 MPa 的压力范围内，气体的压缩性系数 $Z \approx 1$ ，可按理想气体处理。绝热指数 k 可取 1.4，工程计算中允许 ±0.03 的偏差。在此条件下，可忽略气体进出口的动能及位能变化，并采用理想气体状态方程进行计算。

注1：计算过程中，可压缩性系数 Z 和气体常数 R 要使用平均值。

注2：如需精确计算，可使用气体的平均热容代替定值热容。

A.2.2 磁悬浮压缩（膨胀）机械单位质量功计算

磁悬浮压缩（膨胀）机械单位质量功计算如公式 (A.3) 所示：

$$W_{mY} = \int_1^2 V dp + \frac{v_{m2}^2}{2} - \frac{v_{m1}^2}{2} + g(H_2 - H_1) \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

W_{mY} ——磁悬浮压缩（膨胀）机械的单位质量功，单位为焦耳每千克 (J/kg)。

气体流动均匀时，公式 (A.3) 可简化为公式 (A.4)：

$$W_{mY} = \frac{p_2 - p_1}{\rho_m} + \frac{v_{m2}^2}{2} - \frac{v_{m1}^2}{2} + g(H_2 - H_1) \dots\dots\dots (A.4)$$

注：对于膨胀过程，将公式 (A.4) 中符号写成进口参数减出口参数。如：压缩过程写为 $p_2 - p_1$ ，膨胀过程写为 $p_1 - p_2$ 。

忽略气体进出口的动能和位能变化时：

$$W_{mY} = \int_1^2 V dp = \frac{p_2 - p_1}{\rho_m} \dots\dots\dots (A. 5)$$

A. 2. 3 多变过程的单位质量功

多变过程的单位质量功采用公式 (A. 6) ~ (A. 8) 计算。

$$W_{mY} = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \dots\dots\dots (A. 6)$$

$$W_{mY} = \frac{n}{n-1} R Z_1 T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \dots\dots\dots (A. 7)$$

$$W_{mY} = R \cdot Z_m \cdot (T_2 - T_1) \frac{\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中：

$$n \text{——多变指数, } n = \frac{\ln(p_2/p_1)}{\ln(V_1/V_2)} = \frac{\ln(p_2/p_1)}{\ln(p_2/p_1) - \ln(Z_2 T_2/Z_1 T_1)}$$

注1：式中 $n \neq 0$ 、 $n \neq 1$ 和 $n \neq \infty$ 。

注2：多变过程压力和容积关系遵循 $pV^n = C$ 的过程。

注3：气体压缩过程通常介于等温压缩与绝热压缩之间，称为多变压缩。

注4：公式 (A. 6) ~ (A. 8) 的计算结果相同。

注5：磁悬浮压缩系统的经济出口压力一般不超过2 MPa，因此无需考虑苏尔兹修正系数。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3163—2024 真空技术 术语
 - [2] GB/T 3853—2017 容积式压缩机 验收试验
 - [3] GB/T 13930—2024 水环真空泵和水环压缩机 气量测定方法
 - [4] GB 28381—2026 鼓风机能效限定值及能效等级
 - [5] GB/T 30716—2014 能量系统绩效评价通则
 - [6] JB/T 2977—2005 工业通风机、鼓风机和压缩机 名词术语
 - [7] 朱明善, 刘颖, 林兆庄, 等. 工程热力学[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2011: 61-64.
-