

团 体 标 准

T/CSAE XX—2020

燃料电池发动机用离心式空气压缩机 试验方法

Test methods for centrifugal air compressor of fuel cell engine

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 前 言 | 2 |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 设备与仪器要求 | 4 |
| 4.1 仪器设备单位及精度 | 4 |
| 4.2 空压机试验装置要求 | 4 |
| 5 试验方法 | 5 |
| 5.1 一般性能试验 | 5 |
| 5.2 工作特性测试 | 7 |
| 5.3 安全性试验 | 9 |
| 5.4 环境适应性试验 | 9 |
| 5.5 耐久性 | 12 |

前 言

本标准按照GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由中国汽车工程学会测试分会提出。

本标准由中国汽车工程学会归口。

本标准起草单位：中国汽车技术研究中心有限公司、势加透博（上海）能源科技有限公司、广东广顺新能源科技有限公司、深圳市氢蓝时代动力科技有限公司、北京新能源汽车股份有限公司、北京新能源汽车技术创新中心。

本标准主要起草人：王仁广、白江涛、郝冬、张妍懿、孔治国、吴勇辉、曹桂军、魏跃远、张诗敏、王晓兵、朱凯、陈光、赵鑫、郭帅帅、梁晨。

本标准为首次制定。

燃料电池发动机用离心式空气压缩机试验方法

1 范围

本标准规定了燃料电池发动机用离心式空气压缩机（以下简称空压机）的试验方法。

本标准适用于燃料电池电动汽车的燃料电池发动机用离心式空压机。

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，仅所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 1839.3-2015 往复式内燃机_声压法声功率级的测定 第3部分：半消声室精密法

GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.4-2008 电子电工产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热

GB/T 2423.17-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka_ 盐雾

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 18488.1-2015 电动汽车用驱动电机系统 第1部分：技术条件

GB/T 18488.2-2015 电动汽车用驱动电机系统 第2部分：试验方法

GB/T 36282-2018 电动汽车用驱动电机系统电磁兼容性要求和试验方法

JB/T 12335-2015 涡轮增压器密封性试验方法

QC/T 29078-2016 汽车用空气压缩机性能要求及台架试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

空压机 air compressor

空压机包括空压机泵头、驱动电机及其控制器、增速机构（有的话），以及必要的安装支撑部分；根据控制器与电机的位置关系，空压机可分为分体式和集成式两大类。

3.2

空压机输入功率 air compressor power

空压机输入功率是空压机的总输入电功率，包括空压机控制器输入端的高压电输入功率和低压电输入功率。

3.3

增压比 compressor pressure ratio

增压比 π_c 定义为空压机出口气体总压 P_c 与进口气体总压 P_1 之比。

$$\pi_c = \frac{P_c}{P_1}$$

3.4

额定工作点 rated operation point

空压机产品设计时确定的特定工作点（转速、流量、压力、功率），指在设计的规定转速和流量下，对应的出口压力压力和输入功率。

3.5

标准环境状况 standard ambient conditions

大气压力 P_0 : 100 kPa (750mmHg)；环境温度 T_0 : 298 K (25℃)。

3.6

空压机折合流量 compressor conversion flow

当试验环境状况有别于标准环境状况时，空压机实测流量按照标准环境状况进行折算；空压机折合流量由下式计算。

$$G_{cnp} = G_o \frac{P_o}{P_1} \sqrt{\frac{T_1}{298}}$$

式中：G_o—空压机实测流量，单位为千克每秒（kg/s）；P_o—标准状态下的大气压力；P₁为空压机进口压力。

3.7

空压机折合转速 compressor conversion rotation speed

当试验环境状况有别于标准环境状况时，空压机的而实测转速按照标准环境状况进行折算；空压机折合转速用下式计算。

$$n_{cnp} = n \sqrt{\frac{298}{T_1}}$$

式中：n—增压器实测转速，rpm；T₁为空压机进气口空气温度，K。

3.8

空压机折合功率 compressor conversion power

当试验环境状况有别于标准环境状况时，空压机的实测功率按照标准环境状况进行折算；空压机折合功率用下式计算：

$$N_{cnp} = N \frac{P_o}{P_1} \sqrt{\frac{T_1}{298}}$$

其中：N为实测功率；T₁为空压机进口空气温度；P₁为空压机进口空气压力；T_o为标准环境状况的温度；P_o为标准环境状况的压力；

3.9

空压机喘振线 compressor surge line

对于离心式空压机，在转速恒定的情况下，当空压机流量减小到某一值时，空压机出口压力和转速出现剧烈的波动现象，此时对应的流量值为喘振流量，不同转速下的喘振流量点连接起来构成空压机喘振流量线。

3.10

空压机阻塞线 compressor choke line

对于离心式空压机，在转速恒定的情况下，随增压比的减小，出现空压机流量不再增加现象，此时对应的流量值为空压机阻塞流量，不同转速下的阻塞流量点连接构成成为空压机阻塞流量线。

4 设备与仪器要求

4.1 测量参数、单位及准确度

表1 测量参数、单位和准确度的要求

| 名称 | 单位 | 准确度 |
|------|--------|----------|
| 电压 | V | ≤0.5% |
| 电流 | A | ≤0.5% |
| 电阻 | MΩ | ±5% |
| 压力 | kPa | ±1 |
| 温度 | K | ±0.5 |
| 空气流量 | g/s | ≤1% |
| 噪声 | dB (A) | ≤1% |
| 气体流量 | L/min | ≤1% |
| 转速 | rpm | ≤±0.5%FS |
| 相对湿度 | % | ±1 |
| 质量 | g | 10 |

4.2 空压机试验装置要求

4.2.1 试验台管道

1) 试验台管道为圆截面，内壁光滑，不准许有管道截面突变、急转弯、漏气。管道内气流速度应于 0.3 马赫数。与空压机连接的进出口接管的管径应相等。当空压机进出口为非圆截面时，应按面积相等的当量直径确定。所有连接锥管，其锥角应小于 12° 。

2) 测量管应紧靠空压机进出口，应采用等径直管，长度不小于 5 倍管径，截面积不小于增压器相应进出口截面积。

4.2.2 转速测量

空压机转速应采用不干扰流动的方法测量。如空压机叶轮锁紧螺母充磁的非接触式电磁传感器管外测速或光电转速测量仪或者直接读取电机自己的转速。

4.2.3 压力测量

空压机进出口气体的静压测量，采用内壁平直、光滑的圆形截面测量管，管道面积不小于相连接的进出口面积，管长不少于 5 倍管径，静压测点前平直段长度（顺气流方向）不少于 2 倍管径。

4.2.4 温度测量

空压机进出口温度应采用带有滞止护套的电测温度计在圆形截面测量管内测定。测点应布置在静压测点后（顺气流方向）0.5 倍管径的位置，并与测压点相互错开。电测温度计应垂直插入，深度为测量管径的 $1/3$ （以滞止护套管孔口位置计算）。当测量管径较小，不能插入温度计本身规定的深度时，允许插入测量管径的 $1/2$ 位置。

4.2.5 流量测量

空压机流量测量可采用气体质量流量计或标准孔板流量计或端面进气双组线流量计测量，标准孔板流量计安装在空压机出口管道上，端面进气双组线流量计安装在空压机进口管道上。

5 试验方法

5.1 一般性能试验

5.1.1 外观

以目测为主，对于具有明确强度要求的技术参数，如紧固件的连接强度等，应辅之以力矩扳手等必要的工具。

5.1.2 外形和安装尺寸

根据被试空压机外形和安装尺寸要求以及尺寸范围，选择满足测量精度要求的测量工具进行测量。

5.1.3 质量

采用满足测量精度要求的衡器量取空压机的质量。

5.1.4 密封性

1) 空气压缩腔的气密性

按照JB/T 12335-2015中3.5条规定进行。对于水冷式的空压机，空压机所有的冷却水管路处于无水开通状态。

2) 冷却回路的气密性

按照 GB/T 18488.2-2015 中 5.5 规定进行试验，驱动电机冷却回路及其控制器冷却回路分开测量。

5.1.5 绝缘电阻

按照GB/T 18488.2-2015 中5.7规定进行绝缘电阻试验。

5.1.6 耐电压

按照GB/T 18488.2-2015 中的5.8条规定方法进行耐电压试验，其中的驱动电机绕组的匝间冲击耐电压部分不进行测量。

5.1.7 噪声

按照GB/T 1839.3-2015 《往复式内燃机 声压法声功率级的测定 第3部分：半消声室精密法》进行试验，将其中的测试对象换成空压机；空压机安装应模拟在车上的安装方式，配备进气空滤器和出气消声器，测试距离1m，测试工况为空压机额定工作点。

5.1.8 出气含油量

对于使用含油轴承类的空压机,按QC/T 29078-2016标准第5.8条的规定进行出气含油量试验。

5.1.9 动态响应

6.1.9.1 动态加载响应时间(10%-90%):空压机处于热态,测试空压机从10%额定流量到90%额定流量所需要的时间;

6.1.9.2 动态减载响应时间(90%-10%):空压机处于热态,测试空压机从90%额定流量到10%额定流量所需要的时间。

6.1.9.3 起动响应时间,空压机处于冷态,测试空压机从起动到达最低工作转速的所需时间。

5.2 工作特性测试

5.2.1 试验准备

按照图1所示布置空压机工作特性测试台架,并满足4.2中的要求;同时试验台具备满足空压机要求的电源、冷却液系统、冷却气供气和测量系统等相关设备,具备转速测量和功率测量等设备。

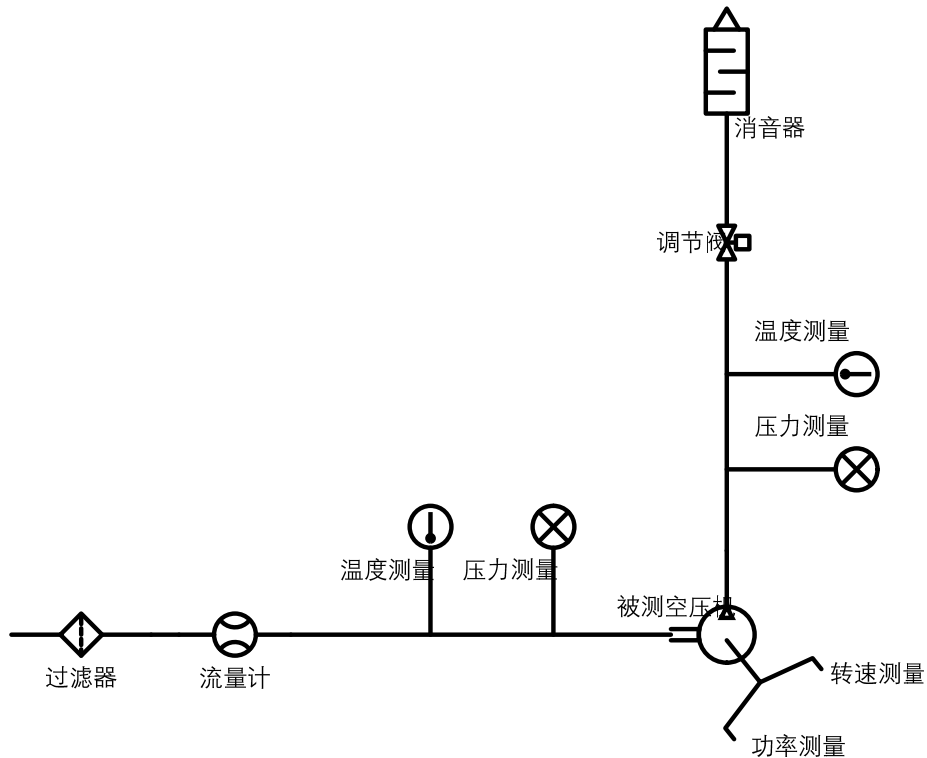


图1 空压机工作特性测试台示意图

5.2.2 试验方法

5.2.2.1 根据试验前获取的被测空压机喘振限制线、堵塞线、压比范围、流量范围、转速范围、功率范围等信息，设置准备测试的等折合转速线，等折合转速线覆盖最低转速和最高转速，中间以适当间隔分档，一般不少于 5 条并且速度线间隔不小于 1000 rpm；

5.2.2.2 试验时，在每条等折合转速线上，通过调节阀控制流量和压比的变化；测试时需要测量多个调节阀开度下的流量和压力的状态点，测试点数一般不少于 5 个；测试点的选取，需要能够较好展示流量和压比的变化规律，一般以等分为宜，局部变化剧烈的区域可以适当增加测试状态点；当测试到接近喘振区域时，应缓慢的调整节流阀阀门开度，缓慢地减小流量，逼近喘振点，测量出压气机喘振点的数据；

5.2.3 测量参数

- a) 环境温度；
- b) 环境压力；
- c) 进口流量；
- d) 进口气体压力；
- e) 进口气体温度；
- f) 出口气体压力；
- g) 出口气体温度；
- h) 转速；
- i) 功率；
- j) 冷却气排气流量；（视被测空压机的需求，确定是否测试该参数）

5.2.4 数据处理

- a) 根据测试数据，以折合流量 G_{np} (g/s) 为横坐标，增压比 π 为纵坐标，以不同的等折合转速 n_{cp} (r/min) 绘制压气机性能曲线，如图 2 所示；
- b) 以折合流量 G_{np} (g/s) 为横坐标，折合功率 N_{np} (kW) 为纵坐标，以不同的等折合转速 n_{cp} (r/min) 绘制空压机功耗曲线，如图 2 所示；

- c) 对于存在冷却气排气的空压机，折合流量 G_{np} 可根据客户要求选择以进口流量计算的折合流量或者以出口流量计算的折合流量；其中出口流量等于进口流量-冷却气排气流量；

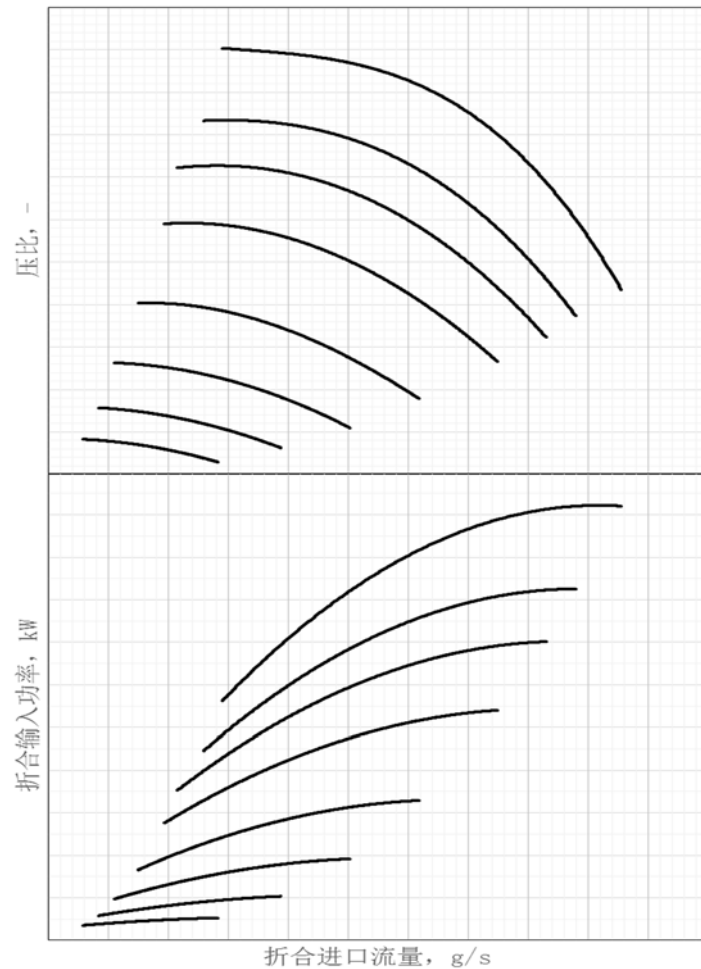


图 2 空压机工作特性曲线

5.3 安全性试验

GB/T 18488.2-2015 第 8 条的规定，对空压机驱动电机系统进行安全接地检查、控制器保护功能和空压机驱动电机控制器支撑电容放电时间测试。

5.4 环境适应性试验

5.4.1 低温

1) 试验方法

进行低温贮存试验时，将空压机正确连接，按照 GB/T 2423.1-2008 的规定，放入低温箱内，使箱内温度降至 -40°C ，并保持 24h，试验过程中，样品处于非通电状态，对于液冷

式空压机，不通入冷却液。低温贮存 24h 后，按照 5.7 的方法在低温箱内复测绝缘电阻，复测绝缘电阻期间，低温箱内的温度应保持在 -40°C 。

低温贮存 24h 后，低温箱内的温度继续保持在 -40°C ，在低温箱内为空压机通电，检查能否正常空载启动。对于液冷式空压机，若要求在启动过程中通入冷却液，冷却液的成分、温度及流量按照产品技术文件规定。

试验结束，按照 GB/T 2423.1—2008 的规定恢复常态后，检查系统能否在额定工作点下正常工作。

5.4.2 高温

6.4.2.1 高温储存

进行高温贮存试验时，将空压机放入高温箱内，按照 GB/T 2423.2-2008 的规定，使箱内温度升至 85°C ，并保持 24h，试验过程中，试件处于非通电状态，对于液冷式空压机，不通入冷却液。高温贮存 24h 后，按照 GB/T 2423.2-2008 中 5.7 的方法在高温箱内复测绝缘电阻，复测绝缘电阻期间，高温箱内的温度应保持在 85°C 。高温贮存 24h，按照 GB/T 2423.2-2008 的规定恢复常态后，检查试件能否在额定工况下正常工作。

6.4.2.2 高温工作

进行高温工作试验时，将驱动电动机控接，按照 GB/T 2423.2-2008 的规定，放入高温箱内，按照 GB/T 18488.1-2015 中 5.6.2.2 的要求设置高箱内的试验环境温度为 55°C ，空压机在额定工况下连续工作 24h，对液冷式空压机，应在试验过程中通入冷却液的成分、温度及流量按照产品技术文件规定。高温工作 24h 后，按照 5.7 的方法在高温箱内复测绝缘电阻，复测绝缘电期间高温箱内的温度应继续保持不变。

5.4.3 高海拔

空压机在海拔高度不小于 2000m 或同等的气压条件（根据需要也可以选择不同的海拔高度或对应的气压条件）下，温度为 $(23\pm 3)^{\circ}\text{C}$ ，湿度为 $(50\pm 5)\%$ 的环境中，至少静置 2h；然后在高海拔情况下测试空压机按照额定工作点的转速和压比连续工作 2h，并测出对应转速和压比下的流量和输入功率。

5.4.4 湿热

按照GB/T 2423.4-2008的规定进行试验，其中严酷程度从该标准第5.2 b) 中选择高温：55℃；循环次数：2次；24小时循环选择GB/T 2423.4-2008中的7.3.3条中的方法1。试验过程中，空压机工作在额定工作点状态，对液冷式空压机，通入冷却液。48h后，按照GBT18488.2-2015中5.7的方法复测绝缘电阻，复测绝缘电阻期间，试验环境继续保持不变。试验结束恢复常态后，检查空压机能否在额定工作点下正常工作。

5.4.5 耐振动

6.4.5.1 试验时，将被试品固定在振动试验台上并处于正常安装位置，同时应将与产品连接的软管、插接器或其他附件安装并固定好；对于使用空气轴承的离心式空压机应在额定工作状态下进行扫频振动和随机振动试验。

6.4.5.2 进行扫频振动试验时，按照 GB/T 18488.1-2015 中的 5.6.4.1.1 的要求设置严酷等级，并按照 GB/T2413.10-2008 的规定进行试验。

6.4.5.3 进行随机振动试验时，按照 GB/T 18488.1-2015 中 5.6.4.2.1 的要求设置严酷度等级，并按照 GB/T 28046.3-2011 的规定进行试验。

5.4.5.4 振动试验完成后，检查零部件是否损坏，紧固件是否松脱。对于非空气轴承类空压机在停止震动后，检查空压机能否在额定工作点正常工作。

5.4.6 防水防尘

按照 GB/T 4942.1-2006 和 GB 4208-2008 中所规定的方法，按照 IP67 防护等级要求进行试验。

5.4.7 盐雾

按照 GB/T 2423.17-2008 的规定进行盐雾试验。空压机在盐雾箱内应处于正常安装状态，试验周期应满足 GB/T 18488.1-2015 中 5.6.6 的要求选择 48h。试验后空压机恢复 1h~2h，记录空压机表面锈蚀情况，测试空压机在额定工作点能否正常工作。

5.4.8 电磁兼容性

按照GB/T 36282-2018《电动汽车用驱动电机系统电磁兼容性要求和试验方法》规定的试验方法进行测试,空压机工作在额定工作点。

5.5 耐久性

具体测试由供应商和主机厂自行商定,原则上总测试时间不少于5000h。

参考文献

- (1) GB/T 23341.1-2018 涡轮增压器 第1部分: 技术条件
 - (2) GB/T 23341.2-2018 涡轮增压器 第2部分: 试验方法
-