

T/CSAE

中国汽车工程学会团体标准

T/CSAE XXXX—XXXX

乘用车空气悬架用空气供给单元 技术规范

Air supply unit used for air suspension of passenger vehicle—Technical specification

（征求意见稿）

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国汽车工程学会 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 技术要求 2

 4.1 一般要求 2

 4.2 工作性能要求 2

 4.3 电气负荷要求 3

 4.4 机械负荷要求 3

 4.5 环境适应性要求 3

 4.6 耐久性要求 4

 4.7 电磁兼容性要求 4

5 试验相关要求 4

 5.1 试验条件 4

 5.2 工作模式 5

 5.3 试验设备 5

6 试验方法 5

 6.1 工作性能试验 5

 6.2 电气负荷试验 7

 6.3 机械负荷试验 8

 6.4 环境适应性试验 9

 6.5 耐久性试验 10

 6.6 电磁兼容性试验 11

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这些专利的责任。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会提出。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

乘用车空气悬架用空气供给单元 技术规范

1 范围

本文件规定了乘用车空气悬架用空气供给单元的技术规范的内容,包含为满足产品设计要求相关的性能评价指标及试验方法等内容。

本文件适用于乘用车空气供给单元的产品开发设计,其他类型的空气供给单元可以参照执行。

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 15173-2010 电声学 声校准器

GB/T 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 21437.2-2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分:沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

GB/T 28046.2-2019 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分:电气负荷

GB/T 28046.4-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分:气候负荷

GB/T 30038 道路车辆 电气电子设备防护等级(IP代码)

GB/T 30512 汽车禁用物质要求

GB/T 31588.1-2015 色漆和清漆 耐循环腐蚀环境的测定 第1部分:湿(盐雾)/干燥/湿气

GB/T 3785.1-2023 电声学 声级计 第1部分:规范

GB 34660-2017 道路车辆 电磁兼容性要求和试验方法

GB/T 6882-2016 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 消声室和半消声室精密法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

空气供给单元 air supply unit

以空气压缩机(简称为“空压机”)为核心,用于调节空气悬架系统内的空气弹簧或储气罐内压力气体进出的空气供给部件。其中,开式空气供给单元气路为外循环系统;闭式空气供给单元气路为内循环系统。

3.2

空气悬架 air suspension

以空气弹簧作为弹性元件的悬架形式。空气悬架的组成包括空气弹簧、减振阻尼元件、储气罐、导向机构、控制系统、横向稳定杆及托架等。

3.3

工作噪声 work noise

供气单元总成在使用寿命内正常工作时所发出的噪声。

注1:噪声一般包含以下两方面:a.紊乱断续或统计上随机的声振荡;b.不需要的声音,可引申为在一定频段中任何不需要的干扰,如电波干扰;

注2:常采用分贝表示其大小。

3.4

随机振动 random vibration

围绕某一平衡点的、瞬时值不可预知的机械振荡,通常用统计特征及概率分布函数描述。

3.5

20%@10min 占空比 20%@10min duty cycle

空气供给单元的工作负荷，即10min内，满足工作2min及以内，停止8min及以上，为一个占空比。

3.6

系统外循环 open type of air circulation system

气路循环和外界（大气）有气体交换的控制系统。

3.7

系统内循环 closed type of air circulation system

气路循环和外界（大气）不连通的控制系统。

3.8

储气单元 air storage unit

试验中用来替代储气罐功能的气体容器。

3.9

负载单元 loading unit

试验中用来替代空气弹簧功能的气体容器。

3.10

露点 dew point

在空气中水汽含量不变，保持气压一定的情况下，使空气冷却达到饱和时的温度称露点温度，简称露点。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 空气供给单元工作环境温度：-40℃~80℃，海拔不超过 3500 米，在此环境下不应出现失效、异响等现象。

4.1.2 空气供给单元外观须光洁平整，上下壳体合箱处应平整无异物，接口无松动，不应有裂纹、凹坑、锈蚀、漆膜脱落、明显形变等缺陷。

4.1.3 空气供给单元的零部件材料应满足 GB/T 30512 相关要求。

4.2 工作性能要求

4.2.1 输送泄压特性

按6.1.1的方法进行试验，应满足如下要求：

——开式空气供给单元：

- 进气气压为大气压时：0到16bar所用时间≤149s；
- 进气气压为-0.45bar时：0到16bar所用时间≤320s；
- 排气时：从16bar排气至2bar以下所用时间≤60s。

——闭式空气供给单元：

- 进气气压为大气压时：0到16bar所用时间≤330s；
- 进气气压为-0.45bar时：0到16bar所用时间≤700s；
- 排气时：从16bar排气至2bar以下所用时间≤60s。

4.2.2 温升特性

按6.1.2的方法进行试验，应满足如下要求：

- a) 在环境温度为-40℃时，按照 20%@10min 占空比运行，空气供给单元总成能完整运行 4 个占空比以上；
- b) 在环境温度为 23℃时，按照 20%@10min 占空比运行，空气供给单元总成能完整运行 2.5 个占空比以上；

- c) 在环境温度为 80℃时,按照 5%@10min 占空比运行,空气供给单元总成能完整运行 1 个占空比以上。

4.2.3 气密性

按6.1.3的方法进行试验后,10min内压力降低不高于1bar。

4.2.4 耐压性

按6.1.4的方法进行试验后,空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求,性能应符合4.2.1和4.2.3的要求。

4.2.5 工作噪声

按6.1.5的方法进行试验,总成工作噪声最大值应 $\leq 63\text{dB(A)}$ 。

4.2.6 露点试验

按6.1.6方法进行试验,空气供给单元的露点降低应 $\geq 40^\circ\text{C}$ 。

4.3 电气负荷要求

4.3.1 耐电压

按6.2.1的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.3.2 过电压

按6.2.2的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.3.3 反向电压

按6.2.3的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.3.4 直流供电电压范围

按6.2.4的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.3.5 绝缘电阻

按6.2.5的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.3.6 叠加交流

按6.2.6的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.3.7 抛负载试验

按6.2.7的方法进行试验后,空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.4 机械负荷要求

4.4.1 机械振动

按6.3.1的方法进行试验后,空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求,性能应符合4.2.1的要求。

4.4.2 机械冲击

按6.3.2的方法进行试验后,空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求,性能应符合4.2.1的要求。

4.5 环境适应性要求

4.5.1 低温

按6.4.1的方法进行试验后,空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求,性能应符合4.2.1的要求。

4.5.2 高温

按6.4.2的方法进行试验后，空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求，性能应符合4.2.1的要求。

4.5.3 湿热循环

按6.4.3的方法进行试验后，空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求，性能应符合4.2.1的要求。

4.5.4 盐雾试验

按6.4.4的方法进行试验后，空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.5.5 防护等级试验

按6.4.5的方法进行试验后，空气供给单元的性能应符合4.2.1的要求。

4.5.6 温度冲击试验

按6.4.6的方法进行试验后，空气供给单元的外观应符合4.1.2的要求，性能应符合4.2.1的要求。

4.6 耐久性要求

按6.5的方法进行试验后，空气供给单元的外观应符合4.1.2，按6.1.1进行输送泄压试验，充放气时间变化量不超过试验前充气时间10%。

4.7 电磁兼容性要求

4.7.1 电磁传导发射

按6.6.1的方法进行试验，空气供给单元的传导发射-电压法限值应符合GB/T 18655-2018中6.3.4的表5中等级3的要求。

4.7.2 电磁辐射发射

按6.6.2的方法进行试验，空气供给单元的辐射发射限值应符合GB/T 18655-2018中6.5.4的表7中等级3的要求。

4.7.3 沿电源线的电瞬态传导

按6.6.3的方法进行试验，空气供给单元沿电源线的电瞬态传导限值应符合GB/T 21437.2-2021中C.3.7的等级III的要求

4.7.4 电磁辐射的抗扰性能

按6.6.4的方法进行试验，空气供给单元对电磁辐射的抗扰性能应符合GB 34660-2017中4.7的要求。

4.7.5 沿电源线瞬态传导的抗扰性能

按6.6.5的方法进行试验，空气供给单元对电源线瞬态传导的抗扰性能应符合GB 34660-2017中4.8的要求。

5 试验相关要求

5.1 试验条件

5.1.1 环境条件

若无特殊要求，产品试验应在表1环境条件中进行。

表 1 试验环境

温度	相对湿度	大气压
23℃±5℃	45%RH~85%RH	86kPa~106kPa

注：文中气压压力均为相对压力。

5.1.2 电压条件

若无特殊要求，产品试验应在表2所示标称工作电压条件中进行。

表 2 工作电压

标称电压 U_N	工作电压范围 (V)	
	U_{\min}	U_{\max}
DC 12	9	16
DC 24	16	32

5.1.3 声学条件

半消声室的声学环境应符合GB/T 6882—2016附录A的规定。

半消声室内除地面外应没有其他声反射物，对于必要的工装（支架、连接法兰等）、线束、冷却管路有较大反射面的部件应做声学处理。反射面（地面）应超出测量表面投影0.75m，反射面的吸声系数在测试频率范围内应小于0.06。

5.2 工作模式

电气试验条件工作模式见表3。

表 3 工作模式

工作模式1	1.1	不接线束及外部管路
	1.2	模拟在车辆上的安装位置接线束及外部管路等附件
工作模式2	2.1	额定电压下通电，不带负载，系统组件功能不被激活
	2.2	额定电压下通电，不带负载，系统组件带电运行
工作模式3	3.1	额定电压下通电，带负载，系统组件功能不被激活
	3.2	额定电压下通电，带负载，系统组件带电运行，系统外循环
	3.3	额定电压下通电，带负载，系统组件带电运行，系统内循环

5.3 试验设备

5.3.1 输送泄压特性试验、温升特性试验在专用试验台或其他类似设备上进行。

5.3.2 耐压试验在专用的气体耐压试验机上进行。

5.3.3 工作噪音试验测量仪器的麦克风、记录仪、线缆等声学测试设备应满足 GB/T 3785.1-2023 中 1 级的要求。声校准器应满足 GB/T 15173-2010 规定的 1 级仪器的要求。

5.3.4 如无特殊误差要求，试验仪器的测量误差应符合表 4 中内容。

表 4 试验仪器误差

项目	测量误差
电压	$\pm 0.1V$
电流	$\pm 1.0\%$
温度	$\pm 2.0^{\circ}C$
时间	$\pm 5.0\%$
相对湿度	$\pm 5.0\%$
气压	$\pm 1.0\%$

5.3.5 负载单元可由 3.7L 容积的气罐代替，储气单元可由 10L 容积的气罐代替。

6 试验方法

6.1 工作性能试验

6.1.1 输送泄压特性

6.1.1.1 将空气供给单元与 1 个负载单元连接，试验前负载单元内气压应不大于 0.2bar。

6.1.1.2 通过空气供给单元对负载单元进行持续充气直到大于 16bar，记录空气供给单元开始工作至负载单元达到 16bar 的时间。

6.1.1.3 负载单元内压力达到 16bar 后，空气供给单元停止工作，3s 后启动空气供给单元的排气阀，将负载单元内压力泄压至 2bar，记录负载单元内压力从 16bar 泄压至 2bar 的时间。

6.1.2 温升特性

6.1.2.1 将空气供给单元与 1 个负载单元连接，负载单元内气压应不大于 0.2bar。

6.1.2.2 试验前空气供给单元应在指定温度下至少保持 4h。

6.1.2.3 通过空气供给单元对负载单元进行持续充气至 14bar，然后关闭。

6.1.2.4 打开排气阀使负载单元压力降低至 9bar。

6.1.2.5 依次按 6.1.2.3、6.1.2.4 进行一次试验为一个循环，重复以上循环直到空气供给单元达到热保护温度或规定循环次数，停止试验。

6.1.2.6 记录循环次数。

6.1.3 气密试验

6.1.3.1 常温气密试验

将空气供给单元连接负载单元，通过空气供给单元将负载单元充气至 14bar，然后切断电源。保压 10min，并记录压降。试验时，空气供给单元可连接 1 个负载单元依次进行试验，或连接 4 个负载单元同时进行试验。

6.1.3.2 低温气密试验

将空气供给单元连接负载单元，空气供给单元放置在 -40℃ 的环境箱内，静置 4 小时后，通过空气供给单元将负载单元充气至 14bar，然后切断电源。保压 10min，并记录压降。试验时，空气供给单元可连接 1 个负载单元依次进行试验，或连接 4 个负载单元同时进行试验。

6.1.3.3 高温气密试验

将空气供给单元连接负载单元，空气供给单元放置在 80℃ 的环境箱内，静置 4 小时后，通过空气供给单元将负载单元充气至 14bar，然后切断电源。保压 10min，并记录压降。试验时，空气供给单元可连接 1 个负载单元依次进行试验，或连接 4 个负载单元同时进行试验。

6.1.4 耐压试验

6.1.4.1 将空气供给单元各阀门关闭，仅打开换向阀并连接外部增压装置。

6.1.4.2 持续对空气供给单元加压，加压过程应保持平缓，加压速率不大于 5 bar/min。

6.1.4.3 直到空气供给单元压力 36Bar \pm 1Bar 后，维持压力 10s。

6.1.4.4 试验后，按 4.1.2 的要求检查空气供给单元的外观，按照 4.2.1 和 4.2.3 的要求进行试验。

6.1.5 工作噪声

6.1.5.1 用实际装车状态的空气供给单元总成进行试验，试验前确认试验时的背景噪声 \leq 35dB(A)。

6.1.5.2 将总成通过弹性条自由悬挂，将进气口布置于测试室外，出气口连接 1 个负载单元。

6.1.5.3 在空气供给单元的上、下、前、后、左、右处布置 6 个麦克风，每个麦克风距离被测声源声学中心 1m。

6.1.5.4 给空气供给单元通额定电压，向负载单元充气使气压从 0bar 升至 14bar。

6.1.5.5 测试频率从 30Hz 至 8000Hz，记录整个充气过程的噪声声压级（A 计权）。

6.1.5.6 对6个麦克风的噪声数据进行处理，取最大值作为噪声值。

6.1.6 露点试验

6.1.6.1 使空气供给单元进气环境条件维持在温度 $(40\pm3)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(90\pm3)\%$ 的环境要求，台架试验见图1。

6.1.6.2 打开截止阀1，启动空气供给单元向10L储气单元充气至16bar。

6.1.6.3 打开截止阀2，使10L储气单元将2.5L储气罐1内压力到目标压力6bar后关闭。

6.1.6.4 打开截止阀4，使10L储气单元将2.5L储气罐2内压力到目标压力6bar后关闭。

6.1.6.5 打开截止阀1，启动空气供给单元向10L储气单元充气至16bar，等待360 s，使压力稳定。

6.1.6.6 打开截止阀2，使10L储气单元将2.5L储气罐1内压力到目标压力8bar后关闭。

6.1.6.7 打开截止阀4，使10L储气单元将2.5L储气罐2内压力到目标压力8bar后关闭。

6.1.6.8 打开2.5L储气罐1与空气供给单元之间的截止阀3及空气供给单元排气电磁阀使压力下降至目标6bar后关闭。

6.1.6.9 打开2.5L储气罐2与打气泵之间的截止阀5及空气供给单元排气电磁阀使压力下降至目标压力6bar后关闭。

6.1.6.10 重复6.1.6.6~6.1.6.9项4次后回到6.1.6.5。

6.1.6.11 重复上述6.1.6.5至6.1.6.10步骤3000次后测量并计算露点降低值。

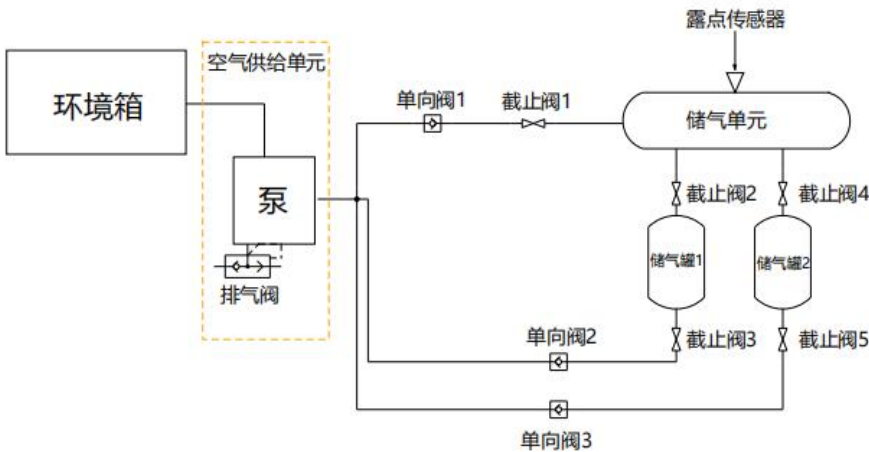


图1 露点试验示意图

6.2 电气负荷试验

6.2.1 耐电压试验

空气供给单元以工作模式1.1，按照GB/T 28046.2-2019中的4.11的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.2.2 过电压试验

空气供给单元以工作模式3.2，按照GB/T 28046.2-2019中的4.3的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.2.3 反向电压试验

空气供给单元以工作模式3.2，按照GB/T 28046.2-2019中的4.7的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。
注：本试验不适于交流发电机和带有钳位二极管而没有外部反极性保护的装置。

6.2.4 直流供电电压范围

空气供给单元以工作模式3.2，先将直流稳压电源电压调至 U_N ，然后逐渐将电压调至 $U_{s_{min}}$ 稳定10min，再逐渐将电压调至 $U_{s_{max}}$ 稳定10min。试验后按照6.1.1进行试验。

6.2.5 绝缘电阻试验

空气供给单元以工作模式1.1，按照GB/T 28046.2-2019中的4.12的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.2.6 叠加交流试验

空气供给单元以工作模式3.2，按照GGB/T 28046.2-2019中的4.4严酷度1的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.2.7 抛负载试验

空气供给单元以工作模式3.2，按照GB/T 28046.2-2019中的4.6.4试验脉冲B的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.3 机械负荷试验

6.3.1 机械振动试验

空气供给单元以工作模式1.2，按表5所示试验条件在X、Y、Z三个方向分别进行试验，每个方向试验时间为22h。

表 5 振动试验条件

频率 (Hz)	加速度功率谱 $(m/s^2)^2/Hz$		
	X	Y	Z
5	7.00E-03	3.00E-03	8.00E-03
10	5.00E-03	1.00E-03	4.00E-03
15	7.00E-03	4.50E-03	1.50E-03
25	5.00E-03	4.50E-03	1.50E-03
35	5.00E-03	4.50E-03	1.50E-03
65	1.50E-03	4.50E-03	7.00E-03
300	9.00E-03	1.00E-03	2.00E-03
1000	1.12E-03	1.12E-03	1.23E-03
RMS (g)	0.70	0.97	1.41

6.3.2 机械冲击试验

空气供给单元以工作模式1.2，如图2所示，按半正弦波，冲击加速度大小50g，冲击时间6ms，冲击方向±Z，冲击次数10次/方向。

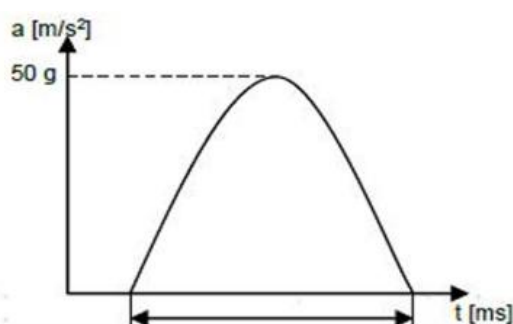


图2 机械冲击加速度曲线

6.4 环境适应性试验

6.4.1 低温试验（储存和工作）

6.4.1.1 低温储存

空气供给单元以工作模式1.1，按照GB/T 28046.4-2011中的5.1.1.1的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.1.2 低温工作

空气供给单元以工作模式3.2，按照GB/T 28046.4-2011中的5.1.1.2的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.2 高温试验（储存和工作）

6.4.2.1 高温储存

空气供给单元以工作模式1.1，按照GB/T 28046.4-2011中的5.1.1.3的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.2.2 高温工作

空气供给单元以工作模式3.2，按照GB/T 28046.4-2011中的5.1.1.4的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.3 湿热循环

按照GB/T 28046.4-2011中的5.6.2.3的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.4 盐雾试验

将空气供给单元各进、排气口封堵密封，按照GB/T31588.1-2015中附录E进行720h的盐雾试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.5 防护等级试验

6.4.5.1 防水试验

空气供给单元以工作模式1.2，按照GB/T 30038中的IPX7的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.5.2 防尘试验

空气供给单元以工作模式1.2，尘土选择：Arizona dust，按照GB/T 30038中的IP6K的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.4.6 温度冲击试验

空气供给单元以工作模式1.1，按照GB/T 28046.4-2011中的5.3.2的方法进行试验，试验后按照6.1.1进行试验。

6.5 耐久性试验

6.5.1 开式空气供给单元

将空气供给单元总成与1个负载单元连接，试验前负载单元内气压应不大于0.2bar。试验时由空气供给单元总成直接为负载单元加压、泄压。

按表6所规定的顺序和条件运行至规定的循环次数。

试验时需全程监测空气供给单元总成的温度传感器或供需双方约定监测点的温度，当温度超过105℃或供应商指定温度时，空气供给单元总成断电降温，当温度均降到85℃以下后，通电继续试验。

表 6 开式空气供给单元耐久性试验表

温度	循环次数	单次循环运行条件		
23℃	2960	步骤	试验条件	运行次数
-40℃	210	1	负载单元气压 5bar→10bar→5bar	5
75℃	290	2	负载单元气压 10bar→13bar→10bar	6
80℃	40	3	负载单元气压 13bar→18bar→13bar	8

注：不同温度点之间变化速率不低于2℃/min。

6.5.2 闭式空气供给单元

将空气供给单元总成与1个储气单元和4个负载单元连接，试验前储气单元和负载单元内气压均应不大于0.2bar。按表7和图3所规定的顺序和条件运行至规定的循环次数。试验时需全程监测空气供给单元总成的温度传感器或供需双方约定监测点的温度，当温度超过105℃或供应商指定温度时，空气供给单元总成断电降温，当温度均降到85℃以下后，通电继续试验。

表 7 闭式空气供给单元耐久性试验表

温度	循环次数	单次循环运行条件		
23℃	6	步骤	试验条件	运行次数
-40℃	2	1	系统外循环工况	1
75℃	2	2	系统内循环工况	758
80℃	1	注：循环试验工况如图 3 所示。		

注：不同温度点之间变化速率不低于2℃/min。

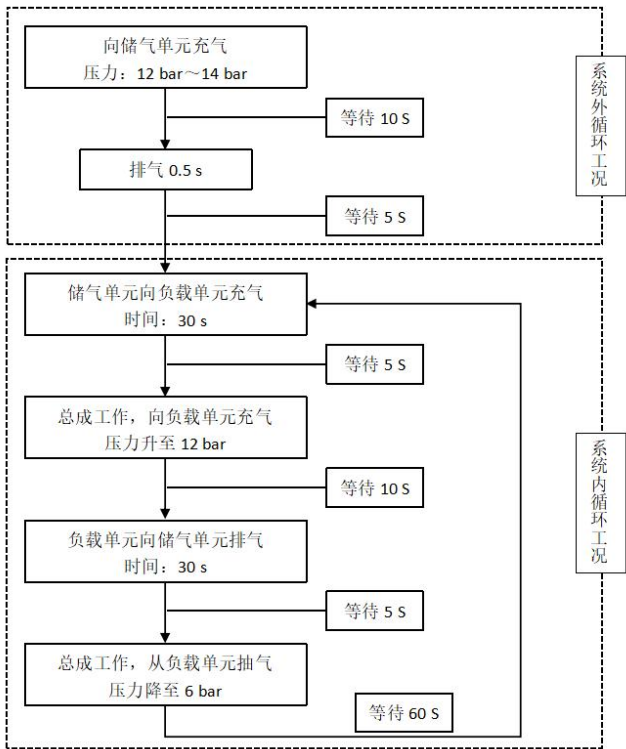


图 3 循环试验工况示意图

6.6 电磁兼容性试验

6.6.1 电磁传导发射

空气供给单元电磁传导发射试验要求、布置及试验程序按GB/T 18655-2018中6.3的规定进行。

6.6.2 电磁辐射发射

空气供给单元电磁辐射发射试验要求、布置及试验程序按GB/T 18655-2018中6.5的规定进行。

6.6.3 沿电源线的电瞬态传导

空气供给单元电瞬态传导试验要求、布置及试验程序按 GB/T 21437.2-2021中4.3的规定进行。

6.6.4 电磁辐射的抗扰

空气供给单元对电磁辐射的抗扰试验要求、布置及试验程序按GB 34660-2017中5.7的规定进行。

6.6.5 沿电源线瞬态传导的抗扰

空气供给单元对沿电源线瞬态传导的抗扰试验要求、布置及试验程序按GB 34660-2017中5.8的规定进行。