

团 体 标 准

T/CAAMTB XXXX—2021

汽车非解耦式电子助力制动系统总成性能 要求及台架试验方法

Performance requirement and testing methods for coupling electric brake booster
system

(征求意见稿)

2021-XX-XX 发布

2021-XX-XX 实施

中国汽车工业协会 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 性能要求.....	4
5 试验方法.....	9

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》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。

本文件由中国汽车工业协会制动系统分会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：浙江亚太机电股份有限公司、中国第一汽车股份有限公司研发总院、山东凯帝斯工业系统有限公司、北京汽车股份有限公司、上海拿森汽车电子有限公司、上海同驭汽车科技有限公司、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司、中科院电工研究所、清华大学、中国汽车工程研究院股份有限公司、中汽创智科技有限公司、万向钱潮股份有限公司、浙江万安科技股份有限公司、北京新能源汽车股份有限公司。

本文件主要起草人：XXXX、XXXX、XXXX、XXXX。

本文件为首次发布。

汽车非解耦式电子助力制动系统总成性能要求及台架试验方法

1 范围

本文件规定了汽车非解耦式电子助力制动系统总成的术语和定义、一般要求、性能要求、试验装置及试验相关要求、试验方法。

本文件适用于汽车非解耦式电子助力制动系统总成。

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 12981 机动车辆制动液
- GB/T 2423.1 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 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 2423.3 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验
- GB/T 2423.17 电子电工产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ka:盐雾
- GB/T 2423.22 电子电工产品环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化
- GB/T 2423.34 电子电工产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Z/AD:温度/湿度组合循环试验
- GB/T 15089-2001 机动车辆及挂车分类
- GB/T 17619 机动车电子电器组件的电磁辐射抗扰性限值和测量方法
- GB/T 18655 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 19951 道路车辆 静电放电产生的电骚扰试验方法
- GB/T 21437.2 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第2部分:沿电源线的电瞬态传导
- GB/T 28046.1-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第1部分:一般规定
- GB/T 28046.3-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分:机械负荷
- 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 28046.5-2013 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第5部分:化学负荷
- GB/T 30038-2013 道路车辆 电气电子设备防护等级(IP代码)
- QC/T 311-2018 汽车液压制动主缸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

电子助力制动系统 **electronic brake booster system**

一种依靠电机提供制动助力的制动系统。

3.2

非解耦式电子助力制动系统 coupled electronic brake booster system

一种踏板输入力与输出液压之间未解耦的电子助力制动系统。

3.3

助力特性曲线 servo characteristic curve

在规定工作条件下的系统输入-输出特性曲线中，加载曲线上最大助力点设计值的30%和70%线性区间内，任意两点或两点以上的连线（见图1）。

3.4

释放力 release force

输入力连续下降过程中，其输出液压降为零时作用在输入推杆上的输入力(见图1)。

3.5

始动力 cut in force

系统产生输出液压时，作用在输入推杆上的最小输入力（见图1）。

3.6

跳跃值 P_j jump-in

在系统输入-输出特性曲线中，过始动力点的垂线与助力特性线的延长线的交点对应的输出液压（见图1）。

3.7

助力比 I_r servo ratio

在系统的输入-输出特性曲线中，跳跃值以上、最大助力点以下的区域内，输出液压增量对应的输出力增量与输入力增量之比。

3.8

最大助力点 P_E run out

在系统的输入-输出特性曲线中，助力特性线的延长线与输入力和输出液压对应输出力的增量比为1的直线延长线的交点（见图1）。

3.9

全行程 full travel

系统输入推杆的最大行程。

3.10

滞后力 ΔF force Hysteresis

在系统的输入-输出特性曲线中，在规定位置处加载和释放过程中相同输出所对应的输入力的差（见图1）。

3.11

初始建压行程 initial pressure-building travel

当制动主缸的液压达到0.1 MPa时的输入推杆行程。

3.12

电子控制单元 electronic control unit, ECU

用于处理传感器提供的信息，并发出控制指令的部件。

3.13

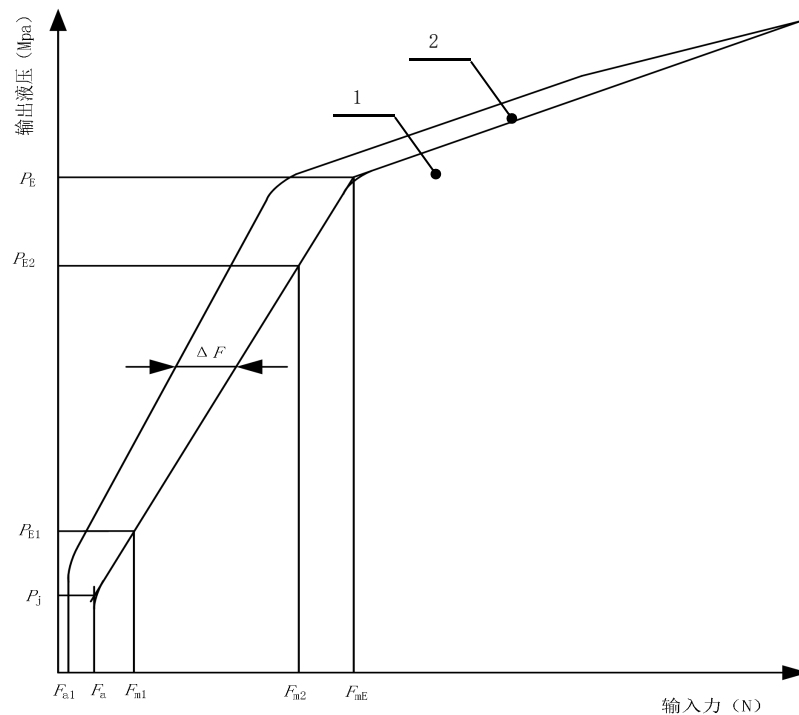
反应时间 reaction time

在系统输入推杆以不小于200 mm/s的速度施加推力，从开始施加输入力到到达最大助力点的97%时所经历的时间。

3.14

释放时间 release time

解除系统输入推杆上的输入力使其自由回位，从解除推杆输入力到输出液压下降到其最大助力点10%时所经历的时间。



标引序号说明：

1——加载曲线；

2——释放曲线；

F_s ——始动力；

F_{s1} ——释放力；

P_j ——跳跃值；

ΔF ——滞后力；

F_{nE} ——最大助力点对应的输入力；

P_E ——最大助力点对应的输出液压；

F_{n1} ——30%最大助力点对应的输入力；

P_{E1} ——30%最大助力点对应的输出液压；

F_{n2} ——70%最大助力点对应的输入力；

P_{E2} ——70%最大助力点对应的输出液压。

图 1 输入-输出特性曲线示意图

4 性能要求

4.1 输入-输出特性曲线

4.1.1 踏板模拟器特性曲线

系统输入-输出特性曲线不应出现任何不规则或不连续，试验过程中应无异常噪声，各特性应满足表1的要求。

表 1 输入-输出特性技术要求

特性		技术要求
始动力		50 N~100 N，或产品图样
释放力		≥ 20 N，或产品图样
跳跃值		产品图样
助力比		产品图样
滞后力		产品图样
输出液压	输入力为最大助力点的 30%	产品图样
	输入力为最大助力点的 70%	产品图样
	最大助力点	产品图样

4.2 无助力特性

输入电压为0 V，输入推杆从初始状态推动直至制动主缸产生的液压满足供需双方约定的值；
输入力为2000 N时输出液压不低于整车满载应急制动时充分发出的平均减速度 2.44 m/s^2 对应的值。

4.3 初始建压行程

不应大于4 mm。

4.4 静态电流

不应大于250 μA 。

4.5 五点参数条件下的输入-输出特性

4.5.1 在五点参数条件下，系统的输入-输出特性曲线不应出现任何不规则或不连续，试验过程中应无异常噪声。

4.5.2 在(-40 $^{\circ}\text{C}$ ，9 V)时，输入输出特性的变化量在(室温，13.5 V)的 $\pm 40\%$ 以内，释放力不低于15 N，或产品图样。

4.5.3 在(-40 $^{\circ}\text{C}$ ，16 V)时，输入输出特性的变化量在(室温，13.5 V)的 $\pm 40\%$ 以内，释放力不低于15 N，或产品图样。

4.5.4 在(105 $^{\circ}\text{C}$ ，9 V)时，输入输出特性的变化量在(室温，13.5 V)的 $\pm 25\%$ 以内，或产品图样。

4.5.5 在 (105 °C, 16 V) 时, 输入输出特性的变化量在 (室温, 13.5 V) 的 $\pm 25\%$ 以内, 或产品图样。

4.6 反应时间、释放时间

系统的反应时间、释放时间应满足表2的要求。

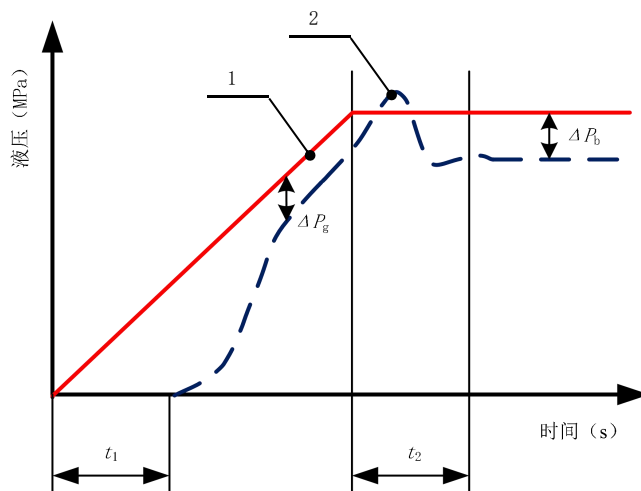
表 2 反应时间和释放时间要求

单位为秒

特性	限制
反应时间	≤ 0.2 (M1 类车辆) ≤ 0.4 (除 M1 类以外车辆)
释放时间	≤ 0.4 (M1 类车辆) ≤ 0.5 (除 M1 类以外车辆)

4.7 液压控制响应性能

按照目标液压曲线的测试序列试验后, 系统的液压控制响应性能 (见图2) 应满足表3要求:



标引序号说明:

1——目标液压 P_{tar} ;

2——输出液压;

t_1 ——从接收到外部制动请求至系统液压开始变化的时间;

t_2 ——从外部制动请求进入保持阶段至电机停止运动时的时间;

ΔP_b ——稳态输出液压与目标液压的偏差;

ΔP_g ——建压或减压过程中实际液压与目标液压的偏差。

图 2 液压控制响应性能评价示意

表 3 液压控制响应性能要求

特性	要求
t_1	≤ 250 ms
t_2	≤ 250 ms

ΔP_b	$\leq 0.2 \text{ MPa}$
ΔP_g	$P_{tar} \leq 1 \text{ MPa}$ 时, $\Delta P_g \leq \text{MAX}(0.2 \text{ MPa 或 } 20\% P_{tar})$; $P_{tar} > 1 \text{ MPa}$ 时, $\Delta P_g \leq 0.2 \text{ MPa}$

4.8 液压密封性

系统的液压密封性应满足表4的要求。

表 4 允许的液压降值

单位为兆帕

试验项目	工作液压	液压降
低压密封性	0.3	≤ 0.05
中压密封性	7	≤ 0.3
高压密封性	14	≤ 0.3

注：也可由供需双方商定。

4.9 静强度

系统经静强度试验后，弹性变形量不应大于0.6 mm，塑性变形量不应大于0.05 mm，并满足4.1性能要求。

4.10 输入推杆抗拉性能

不应小于3000 N。

4.11 工作噪音要求

应满足如下要求：

- 25 mm/s 输入推杆速度下的工作噪音不应大于 50 dB(A)；
- 50 mm/s 输入推杆速度下的工作噪音不应大于 58 dB(A)；
- 100mm/s 输入推杆速度下的工作噪音不应大于 67 dB(A)。

4.12 高低温存放试验

试验过程中，外观无损坏或变形；功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 C 级。

4.13 高温工作试验

试验过程中，外观无损坏或变形；功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

4.14 低温工作试验

试验过程中，外观无损坏或变形；功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

4.15 高低温交变试验

试验过程中，外观无损坏或变形；功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 C 级。

4.16 温度/湿度组合循环试验

试验过程中，外观无损坏或变形；功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

4.17 盐雾试验

试验后，不得有盐水进入壳体；功能状态应达到GB/T 28046.1定义的A级。

4.18 防尘试验

试验后，能正常工作，满足4.1、4.9要求，外形无破损和变形，密封区域无肉眼可见粉尘。

4.19 防水试验

试验后，能正常工作，满足4.1、4.9要求，外形无破损和变形，无水进入密封区域。

4.20 机械冲击试验

功能状态应达到GB/T 28046.1定义的A级。

4.21 机械振动试验

不允许出现损坏，在GB/T 28046.1定义的工作模式3.2下达到功能状态A，其他工作模式下达到功能状态C。

4.22 化学负荷试验

试验后，功能状态应达到GB/T 28046.1中规定的C级，标志和标签应保持清晰可见。功能性零件无破损，无试剂进入测试样件的密封区域。

4.23 电磁兼容试验

4.23.1 无线电骚扰特性试验

应符合GB 18655规定的要求，不应小于限值的III级水平。

4.23.2 电磁辐射抗扰性试验

应符合GB/T 33014规定的要求。

4.23.3 静电放电产生的电骚扰试验

应符合GB/T 19951规定，达到A类要求。

4.23.4 沿电源线的电瞬态传导试验

应符合GB/T 21437.2规定，达到A类要求。

4.24 故障报警要求

任何影响到本文件规定的系统功能和性能的电气故障时，应以符合GB 4094专门的光学报警信号向驾驶员报警。

4.25 其他要求

本文件中未述及的制动主缸真空密封性、气压密封性、输出功能、排量、无负载回程时间、压差性能、流量、液压冲击、耐压强度、工作耐久性、振动性能、耐盐雾腐蚀性测试条目应符合QC/T 311。

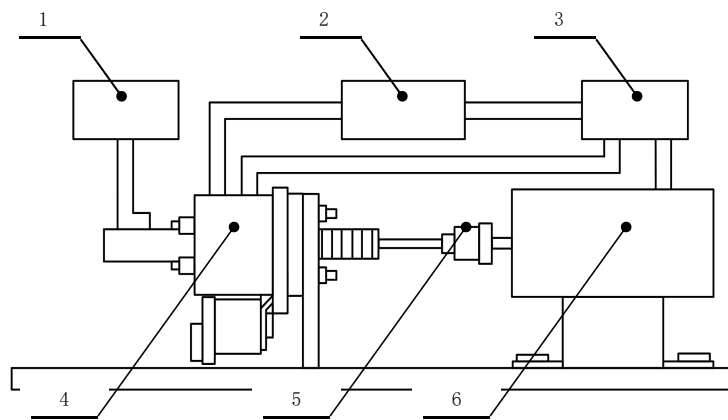
4.25.1 驱动装置的推杆与样件输入推杆的轴线夹角不应大于 3.5° ，输入推杆应能迅速回位；周期工作时，加载频率和速率可根据试验要求进行调整。

4.25.2 试验用直流稳压电源。

4.25.3 负载装置：可使用实车负载，或使用液压-需液量特性与实车负载一致的模拟负载。反应时间测试的标准负载设定：10 MPa 对应 8 ml 液量吸收(M1 类车辆)，10 MPa 对应 11 ml 液量吸收(除 M1 类车辆外)。

4.25.4 除另有规定外，装置的连接方式应与实车状态一致。

4.25.5 其他装置应符合 QC/T 311-2018 第 6 章的规定。



标引序号说明：

1——负载模拟装置；

2——计算机系统；

3——供电系统；

4——测试样件；

5——输入力测试装置；

6——驱动装置。

图 3 试验装置示意图

4.26 试验相关要求

4.26.1 工作模式参考 GB/T 28046.1-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 1 部分 一般规定中定义。

4.26.2 试验用制动液应符合 GB 12981 的要求，其牌号应与实车相符或由供需双方商定。

4.26.3 试验中，若样件自带储液罐，制动液应加注到储液罐最高刻度线位置。

4.26.4 本标准中室温为 23°C ，规定试验方法中的温度偏差为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，另有明确要求除外。

4.26.5 本标准中试验电压为 $(13.5 \pm 0.5)\text{V}$ ，另有明确要求除外。

4.26.6 试验项目及试验顺序宜按表5进行。

表5 样件试验项目及顺序

顺序	试验项目	样件编号																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	输入-输出特性曲线	*	*	*	*																					
2	无助力特性	*	*	*	*																					
3	初始建压行程	*	*	*	*																					
4	静态电流	*	*	*	*																					
5	五点参数条件下的输入-输出特性	*	*	*	*																					
6	最高建压能力	*	*	*	*																					
7	反应时间、释放时间和回程时间	*	*	*	*																					
8	液压控制响应性能	*	*	*	*																					
9	液压密封性	*	*	*	*																					
10	静强度					*	*	*																		
11	制动踏板感觉模拟器 液压密封性	*	*	*	*																					
12	制动踏板感觉模拟器 强度							*	*	*																
13	输入推杆抗拉性能										*	*	*													
14	工作噪音要求	*	*																							
15	高低温存放试验												*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
16	高温工作试验												*	*												
17	低温工作试验												*	*												
18	高低温交变试验												*	*												
19	温度/湿度组合循环 试验												*	*												
20	盐雾试验															*	*									
21	防尘试验																	*	*							
22	防水试验																		*	*						
23	机械冲击试验																				*	*				
24	机械振动试验												*	*												
25	化学负荷试验																							*	*	
26	电磁兼容试验	*	*																							

注：“*”表示选择该样件。

5 试验方法

5.1 输入-输出特性曲线试验

5.1.1 试验的环境温度为室温。将样件固定在试验台架上，与测量装置、负载装置连接成测试回路，排尽液压测试回路中的空气。

5.1.2 在试验电压下，输入推杆以 (2 ± 0.5) mm/s的速度连续加载到最大助力点的130%以上，然后以相同的速率连续卸载，记录输入行程、输入力、输出液压。

5.1.3 根据记录的值，绘制输入力与输出液压的关系曲线，确定和计算表1中的各特性参数值。

5.2 静态电流试验

5.2.1 样件固定在试验台架上，样件推杆处于初始位置，制动主缸输出端不接负载。

5.2.2 样件处于休眠模式5 s后，记录10 s内ECU供电电流，并计算平均电流值。

5.3 无助力特性试验

将样件固定在试验台架上，与测量装置、负载装置连接成测试回路，排尽液压测试回路中的空气。在试验电压0 V的条件下，输入推杆以 (2 ± 0.5) mm/s的速度加载到2000N以上的力，记录制动主缸输出液压为0.1 MPa时的输入力、输入力为500 N×杠杆比时的制动主缸输出液压。

5.4 初始建压行程试验

5.4.1 将样件固定在试验台架上，排尽液压回路中的空气。在样件排液孔连接液压测量装置。

5.4.2 在试验电压下，输入推杆以 (2 ± 0.5) mm/s的速度加载，分别记录样件各制动腔液压为0.1 MPa时输入推杆的位移。

5.5 五点参数条件下的输入-输出特性试验

5.5.1 将样件固定在试验台架上，与测量装置、负载装置连接成测试回路，排尽液压测试回路中的空气。按下述条件分别进行测试，温度稳定时间不应少于2小时。

5.5.2 在(室温, 13.5 V)时，测试输入输出特性(始动力, 释放力, 跳跃值, 助力比、滞后力、输入力为最大助力点的30%的输出液压, 输入力为最大助力点的70%的输出液压, 最大助力点的输出液压)。

5.5.3 在(-40 °C, 9 V)时，测试输入输出特性(始动力, 释放力, 跳跃值, 助力比、滞后力、输入力为最大助力点的30%的输出液压, 输入力为最大助力点的70%的输出液压, 最大助力点的输出液压)。

5.5.4 在(-40 °C, 16 V)时，测试输入输出特性(始动力, 释放力, 跳跃值, 助力比、滞后力、输入力为最大助力点的30%的输出液压, 输入力为最大助力点的70%的输出液压, 最大助力点的输出液压)。

5.5.5 在(105 °C, 9 V)时，测试输入输出特性(始动力, 释放力, 跳跃值, 助力比、滞后力、输入力为最大助力点的30%的输出液压, 输入力为最大助力点的70%的输出液压, 最大助力点的输出液压)。

5.5.6 在(105 °C, 16 V)时，测试输入输出特性(始动力, 释放力, 跳跃值, 助力比、滞后力、输入力为最大助力点的30%的输出液压, 输入力为最大助力点的70%的输出液压, 最大助力点的输出液压)。

5.6 反应时间和释放时间试验

5.6.1 将样件固定在试验台架上，与测量装置、负载装置连接成测试回路，排尽液压测试回路中的空气。

5.6.2 在试验电压下，以不小于 200 mm/s 的速度推动输入推杆，使输出液压达到最大助力点的 130%，保持至少 2s 后，迅速解除作用在输入推杆上的力，使输入推杆自由返回。

5.6.3 试验过程中，记录液压到达最大助力点 97% 经历的时间（即反应时间）和从最大助力点降至最大助力点 10% 所经历的时间（即释放时间）。

5.7 液压控制响应性能试验

5.7.1 将样件固定在试验台架上，与测量装置、负载装置连接成测试回路，排尽液压测试回路中的空气。

5.7.2 通过外部指令控制样件按照图 4 进行试验，保持液压值和保持时间如表 6，记录输出液压并绘制输出液压和时间的关系曲线。

5.7.3 通过外部指令控制样件按照图 5 进行试验，保持液压值和保持时间如表 7，记录输出液压并绘制输出液压和时间的关系曲线。

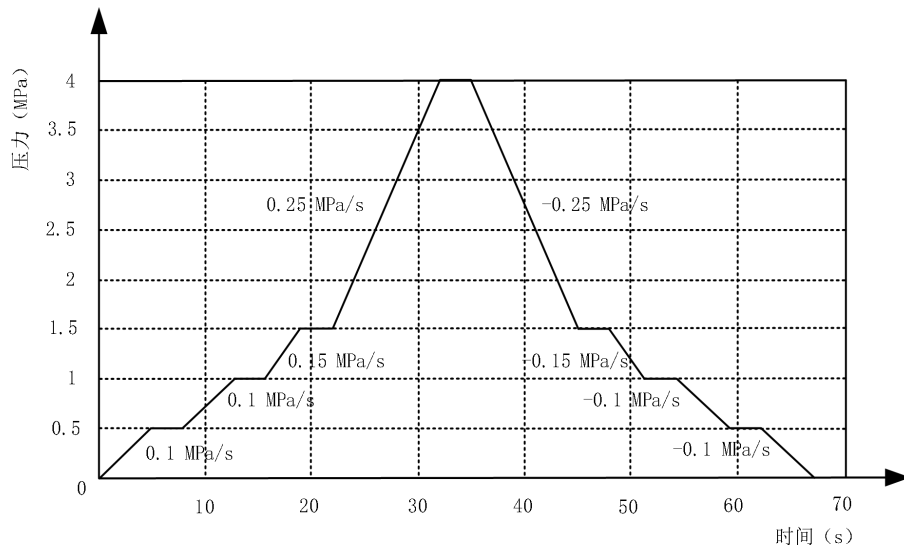


图 4 小目标液压测试序列

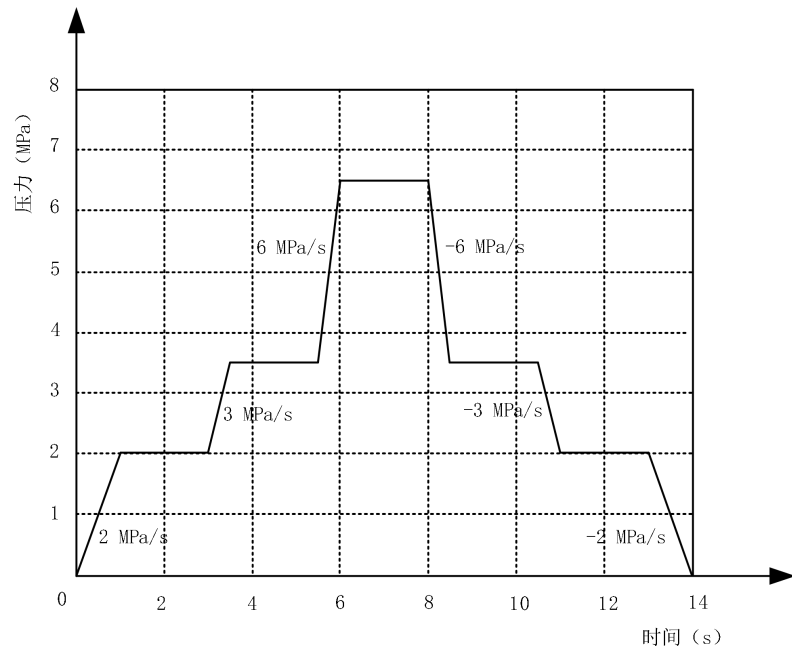


图 5 中目标液压测试序列

表 6 小目标液压梯度测试序列的保持液压值和保压时间

保持液压值 MPa	0.5	1	1.5	4
保压时间 s	3	3	3	3

表 7 中目标液压梯度测试序列的保持液压值和保压时间

保持液压值 MPa	2	3.5	6.5
保压时间 s	2	2	2

5.8 液压密封性试验

5.8.1 将样件固定在试验台架上，与测量装置、负载装置连接成测试回路，排尽液压测试回路中的空气。

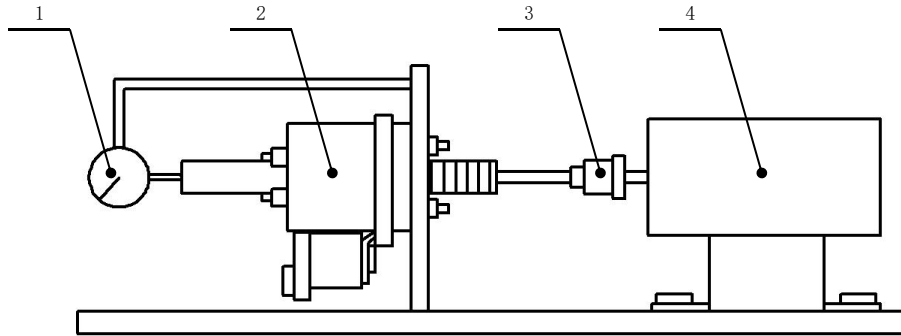
5.8.2 在规定的试验电压下，匀速推动输入推杆在液压测试回路中建立起 0.3 MPa 的工作液压，将输入推杆在该位置锁住，液压系统液压稳定 30 s 后，测量 60 s 内液压制动主缸各制动腔的液压降。

5.8.3 在工作液压 7 MPa、14 MPa 条件下，重复 6.8.2。

5.9 静强度试验

5.9.1 按图 6 安装变形测量装置，排尽液压测试回路中的空气，堵住排液孔。

- 5.9.2 在试验电压下，在输入推杆上施加 (6860 ± 130) N 的力，并保持 30 s 后卸载。
- 5.9.3 记录样件的弹性变形量和塑性变形量。
- 5.9.4 按 6.1 测量相应的试验条目。



标引序号说明：

- 1——位移测量装置；
- 2——测试样件；
- 3——载荷测量装置；
- 3——驱动装置。

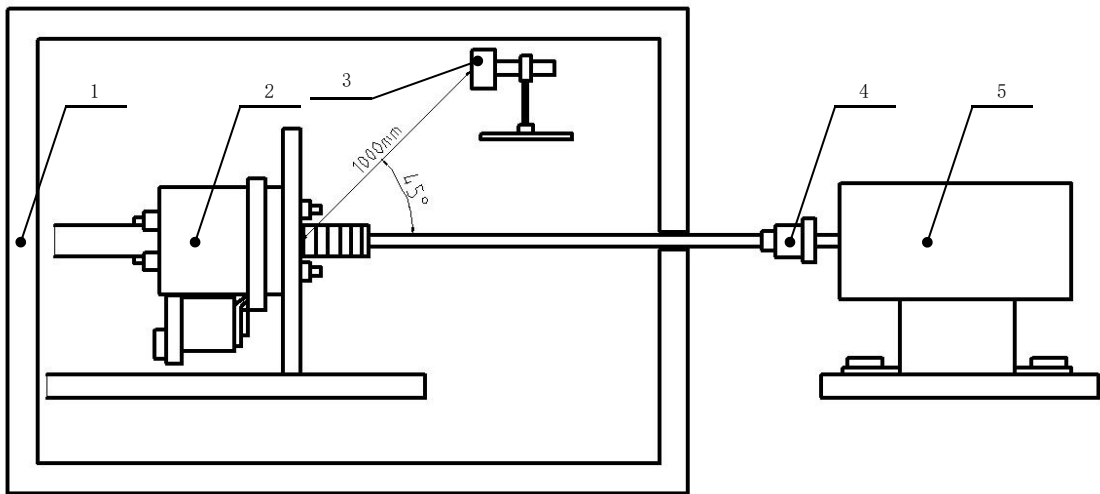
图 6 静强度试验装置示意图

5.10 输入推杆抗拉性能试验

- 5.10.1 将样件安装在试验台上。
- 5.10.2 对输入推杆以 50 N/s 的速度施加反向的拉力直至推杆拉出，记录过程中的最大拉力。

5.11 工作噪音试验

- 5.11.1 将样件安装在噪音室内，环境噪音不大于 35 dB (A)，安装状态与实车一致，连接负载装置，排尽液压测试回路中的空气。
- 5.11.2 在距离产品斜上 45° 的 1000 mm 处安装声级计，见图 8。
- 5.11.3 分别以 25 mm/s、50 mm/s、100 mm/s 的速度推动输入推杆，记录测得的分贝值和频率。



标引序号说明：

- 1——隔音箱；
- 2——测试样件；
- 3——拾音器；
- 4——输入推杆连接装置；
- 5——驱动装置。

图 7 噪音试验装置示意图

5.12 高低温存放试验

5.12.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.12.2 样件放入高低温环境试验箱中，在低温-40℃按 GB/T 2423.1 进行试验，持续 24 h，工作模式为 1.1；样件恢复到室温后，在 120℃按 GB/T 2423.2 进行试验，持续 48 h，工作模式 1.1。

5.12.3 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查是否正常工作。

5.13 高温工作试验

5.13.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.13.2 样件放入高低温环境试验箱中，在 105℃温度下按 GB/T 2423.2 中试验 Be：高温试验方法进行，持续 96 h，工作模式 3.2。

5.13.3 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查是否正常工作。

5.14 低温工作试验

5.14.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.14.2 样件放入高低温环境试验箱中，在-40℃温度下按 GB/T 2423.1 中试验 Ae：低温试验方法进行，持续 48 h，工作模式 3.2。

5.14.3 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查是否正常工作。

5.15 高低温交变试验

5.15.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.15.2 样件放入高低温交变试验箱内，按 GB/T 2423.22 进行试验；样件在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温箱中放置 2 h，然后快速将产品放入 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温箱中放置 2 h，完成 50 个循环。

5.15.3 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查是否正常工作。

5.16 温度/湿度组合循环试验

5.16.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.16.2 按 GB/T 2423.34 中试验 Z/AD 试验方法进行试验，循环次数 10 次。

5.16.3 当达到最大循环湿度进行 6.1 试验，检查是否正常工作。

5.17 盐雾试验

5.17.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.17.2 试验温度 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.17.3 按 GB/T 2423.17 试验 Ka 以及图 8 所示循环进行，每个试验循环共 12 小时，按图 8 由 8 h 喷洒阶段和 4 h 静止阶段组成；工作模式 1.2 和工作模式 3.2 在喷洒阶段隔 1 个小时交叉进行，静止阶段工作模式 1.2；共进行 12 个循环。

5.17.4 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查是否正常工作。

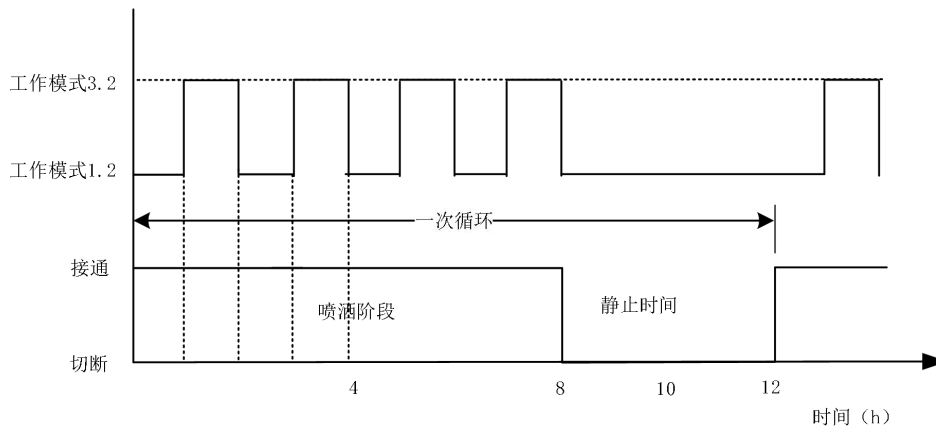


图 8 盐雾试验循环图

5.18 防尘试验

5.18.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。

5.18.2 按 GB/T 30038-2013 IP6K 规定进行，工作模式 3.1。

5.18.3 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查样件外观，清除样件表面灰尘后拆开样件检查样件密封区域。

5.19 防水试验

- 5.19.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。
- 5.19.2 按 GB/T 30038-2013 IPX7 或 IPX9K 规定进行，工作模式 3.2。
- 5.19.3 试验完成后按 6.1 测量相应的试验条目，检查样件外观，清除样件表面水汽后拆开样件检查样件密封区域。

5.20 机械振动试验

- 5.20.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。
- 5.20.2 将样件装入试验箱，与实车安装状态保持一致，工作模式、试验时间、试验温度按 GB/T 28046.3-2011 中定义方式进行，频谱按图 9 及表 8 要求进行振动试验，沿 X, Y, Z 轴方向。

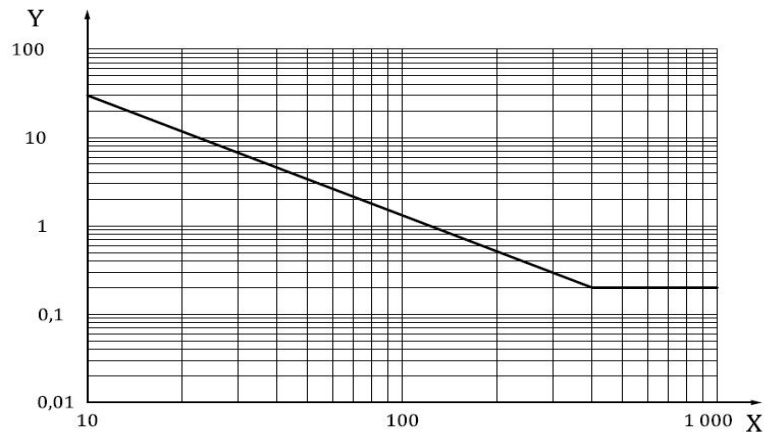


图 9 测试频谱要求

表 8 测试频谱要求

频率-X Hz	PSD-Y (m/s ²) ² /Hz
10	30
400	0.2
1000	0.2

- 5.20.3 试验过程中，若样件自带储液罐，应观察储液罐连接部位有无泄漏，制动液是否从储液罐中溢出。
- 5.20.4 试验完成后，检查样件连接部位是否有松动现象，有无影响功能的变形和损坏，检查是否正常工作，按 6.1 测量相应的试验条目。

5.21 机械冲击试验

- 5.21.1 样件液压回路内充满制动液，排尽空气，堵住排液孔。
- 5.21.2 按 GB/T 28046.3-2011 要求进行，工作模式 3.2。
- 5.21.3 试验完成后，检查样件连接部位是否有松动现象，有无影响功能的变形和损坏，检查是否正常工作，按 6.1 测量相应的试验条目。

表 9 机械冲击试验参数

冲击加速度	名义冲击持续时间	冲击波形	每轴冲击次数	总冲击次数
500 m/s ²	6 ms	半正弦波	10	30

5.22 化学负荷试验

完成高低温存放试验后与电器接插件连接，根据GB/T 28046.5规定中A类安装位置要求进行液体兼容试验，具体要求见表10或按客户要求执行。

表 10 A 类安装位置化学试剂要求

化学试剂	湿润方法
柴油	I, III, IV, V
汽油/无铅汽油	I, III, IV, V
甲醇	II, III, IV, V, VI
发动机机油	II, III, IV, V
发动机冷却液	I, III, IV, V, VI
液压油	II, III, IV, V
油脂	II, III
蓄电池液	III, V
制动液 DOT4	II, III, V
防冻液	I, III, IV, V, VI
防护蜡	I, II
防护蜡清洗剂	I, III, IV, V
风挡玻璃清洗剂	II, III, IV, V
车用化学清洗剂	I, II, III, IV, V
道路融冰机	I, II, IV

表 11 湿润方法

湿润方法代号	方法
I	喷雾
II	涂刷（刷子）
III	擦刷/抹刷（棉布）
IV	倾倒
V	点滴
VI	浸泡

5.23 电磁兼容试验

5.23.1 无线电骚扰特性试验

样件正常工作，按GB 18655的规定，分别进行零部件的传导发射和零部件传导骚扰限值、零部件的辐射发射和零部件辐射骚扰限值两种试验。

5.23.2 电磁辐射抗扰性试验

样件正常工作，按GB/T 33014的规定，采用自由场法和大电流注入法在屏蔽室内进行试验，自由场法抗扰性电平限值为100 V/m，大电流注入法抗扰性电平限值100 mA。

5.23.3 静电放电产生的电骚扰试验

样件正常工作，按GB/T 19951规定的试验等级III进行试验，车速为8 km/h。测量点应在电机、传感器及控制器接插件周围及壳体上表面边缘，被测点不少于10点。

5.23.4 沿电源线的电瞬态传导试验

样件正常工作，按GB/T 21437.2规定的试验等级III进行试验。
