

团体标准

T/CSAE XXX—XXXX

乘用车主动后轮转向器总成技术要求及试验方法

Technical Requirements and Test Methods for Active Rear-Wheel Steering Assembly of Passenger Cars

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(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

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 3

 4.1 功能要求 3

 4.2 性能要求 4

 4.3 功能安全要求 5

5 试验方法 5

 5.1 轴向刚度及间隙试验 5

 5.2 径向刚度及间隙试验 6

 5.3 自锁性能试验 6

 5.4 阶跃响应试验 7

 5.5 正弦扫频试验 8

 5.6 助力性能试验 9

 5.7 软止点保护试验 9

 5.8 过温保护试验 10

 5.9 复位精度试验 10

 5.10 耐久试验 11

 5.11 强度试验 13

 5.12 噪声试验 13

 5.13 功能安全验证 14

 5.14 环境试验 14

 5.15 随机振动试验 16

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。

本文件由中国汽车工程学会汽车转向技术分会提出。

本文件起草单位：苏州衡鲁汽车部件有限公司、中国第一汽车集团有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司牵头，豫北转向系统（新乡）股份有限公司、同驭汽车科技有限公司、天津德科智控股份有限公司、成都道恒底盘智能科技有限公司、魏桥新能源汽车中央研究院、东风汽车集团股份有限公司研发总院、比博斯特（上海）汽车电子有限公司、岚图汽车科技有限公司、辰致科技有限公司、域磐科技（上海）有限公司

本文件主要起草人：何德管、王力、张洋、余景龙、杨文畅、朱东博、邓念、王伟强、刘丛志、沙文翰、许克峰、范明、刘俊、张玉玺、陈鑫

乘用车主动后轮转向器总成技术要求及试验方法

1 范围

本文件规定了乘用车主动后轮转向器总成的一般要求、性能要求、功能安全要求和试验方法。
本文件适用于乘用车主动后轮转向器总成。

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 17675 汽车转向系 基本要求

GB/T 35360 汽车转向系统术语和定义

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 2423.17 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 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 2423.34 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 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 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

3 术语和定义

GB 17675、GB/T 35360 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

乘用车主动后轮转向器总成 Passenger Car Active Rear-Wheel Steering Assembly

乘用车主动后轮转向器总成由机械传动部件、传感器、传感器线束、控制器、电机等部件组成，见图1。

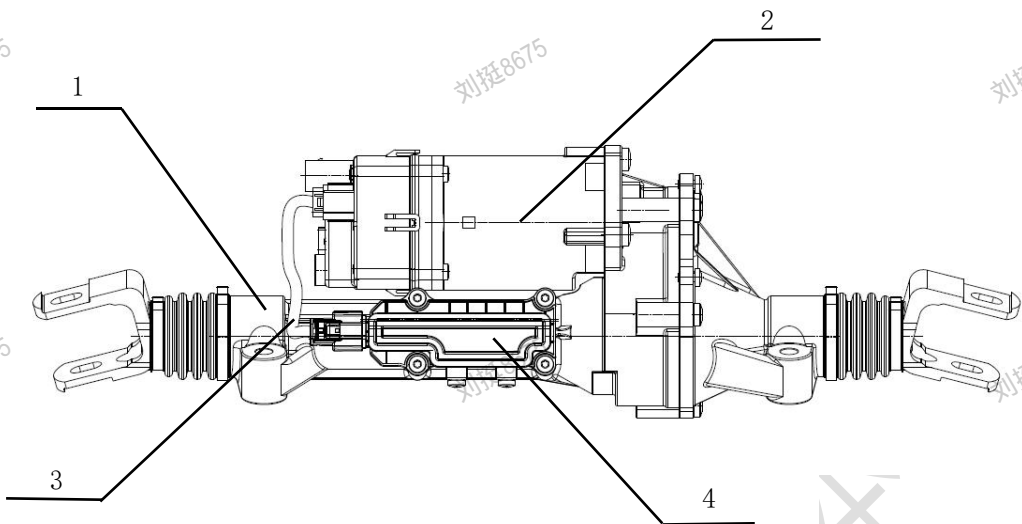


图 1 乘用车主动后轮转向器总成结构示意图

标引序号说明：

- 1——机械传动部件；
- 2——电机及控制器；
- 3——传感器线束；
- 4——传感器。

3.2

齿条输出力 Rack Output Force

乘用车主动后轮转向器总成输出的用于驱动车轮摆动的齿条力¹。

3.3

自锁 Self-locking

乘用车主动后轮转向器总成在受到轴向力冲击的情况下齿条不允许发生影响功能安全的位移速度。

3.4

轴向间隙 Axial Backlash

乘用车主动后轮转向器总成各传动副沿齿条轴向方向产生的间隙之和²。

3.5

径向间隙 Radial Backlash

1) ¹ 单位为牛顿 (N)
2) ² 单位为毫米 (mm)

乘用车主动后轮转向器总成各传动副沿齿条径向方向产生的间隙之和³⁾。

3.6

响应时间 Response Time

上位机发出阶跃信号指令到乘用车主动后轮转向器总成执行完毕的时间间隔⁴⁾。

3.7

稳态误差 Steady-State Error

乘用车主动后轮转向器总成接收到的上位机请求齿条位置 and 实际齿条位置的差值。

3.8

行程软止点 soft travel stop

由软件标定参数决定的乘用车主动后轮转向器总成行程极限位置⁵⁾。

3.9

符号定义 Symbol Definition

下列符号适用于本文件。

F_{max} : 最大齿条力, 单位为牛顿 (N);

T_{10} : 阶跃响应试验中从发出转角阶跃信号到乘用车主动后轮转向器总成运动到目标值10%的时间, 单位为秒 (s);

T_{90} : 阶跃响应试验中从发出转角阶跃信号到乘用车主动后轮转向器总成运动到目标值90%的时间, 单位为秒 (s);

α_{max} : 最大允许齿条行程, 单位为毫米 (mm)。

4 技术要求

4.1 功能要求

乘用车主动后轮转向器总成应能满足车辆低速时减小转弯半径, 高速时提高车辆行驶稳定性的要求。需要具备的功能如下:

4.1.1 位置控制

乘用车主动后轮转向器总成接收到位置请求信号后控制电机运动到指定的位置。

4.1.2 自动回中

乘用车主动后轮转向器总成在发生故障、车辆上电、下电等工况下可以自行回到齿条零点位置。

4.1.3 机械自锁

3) ³单位为毫米 (mm)

4) ⁴单位为毫秒 (ms)

5) ⁵单位为毫米 (mm)

乘用车主动后轮转向器总成发生故障或不工作时，齿条应停留在当前位置可实现自锁，避免轮胎的逆向激励导致的齿条位移。

4.1.4 终点软停止

乘用车主动后轮转向器总成应平稳运行到行程软止点，不应超出行程限制。

4.1.5 位置外发

齿条位置信息通过总线通讯发送给整车。

4.1.6 温度保护

在电机或控制器过热时降低或切断电机扭矩输出避免电机或控制器过热损坏。

4.1.7 过载保护

由于外界或后轮转向自身的原因导致齿条卡滞时，降低或切断电机扭矩输出，实现对硬件的过载保护。

4.1.8 电压保护

电压过低或过高时，乘用车主动后轮转向器总成根据电压值的高低切换到相应的工作模式。

4.1.9 故障报警

乘用车主动后轮转向器总成不能正常工作时，应有相应的故障报警信号输出。

4.2 性能要求

4.2.1 轴向间隙

轴向间隙应不大于 0.1mm。

4.2.2 轴向刚度

轴向刚度应不小于 40kN/mm。

4.2.3 径向间隙

径向间隙满足制造商的要求。

4.2.4 径向刚度

径向刚度满足制造商的要求。

4.2.5 自锁性能

乘用车主动后轮转向器总成在自锁时，齿条的移动速度应不大于 1.6mm/s，最大位移量应不大于 1mm。

4.2.6 响应延迟

乘用车主动后轮转向器总成响应控制指令的延迟时间 T_{10} 应不大于 150ms， T_{90} 应不大于 450ms。

4.2.7 最大超调量

乘用车主动后轮转向器总成响应控制指令过程中齿条最大位移值和目标值的差值应不大于 0.1mm。

4.2.8 稳态误差

乘用车主动后轮转向器总成响应控制指令过程中齿条引入稳态后的位移值和目标值的差值应不大于 0.1mm。

4.2.9 跟随性能

正弦扫频测试的请求值和实际值之间的相位差应不大于 80° , 幅值变化应不大于 10%。

4.2.10 助力性能

乘用车主动后轮转向器总成在空载时最大齿条移动速度应不小于 45mm/s, 在最大负载时的最大齿条移动速度应不小于 15mm/s。

4.2.11 强度性能

极限拉伸强度和极限压缩强度应不小于 60kN。

4.2.12 密封性能

乘用车主动后轮转向器总成应满足 IP67 和 IP6K9K 的密封要求。

4.3 功能安全要求

应确保为实现安全目标而选择的安全策略不会在故障条件, 非故障条件下影响车辆的安全运行。乘用车主动后轮转向器总成的电子控制系统相关危害的功能安全要求应至少包含表 1 中所列出的要求。

表 1 功能安全要求

序号	整车危害	ASIL 等级	安全目标	FTTI
1	非预期的侧向运动	D	避免直行过程中非预期转向, 导致车辆产生非预期的侧向运动	20ms
2	非预期的失去侧向运动控制	D	避免发生错误转向动作(转向方向错误, 过多转向)	20ms

5 试验方法

5.1 轴向刚度及间隙试验

乘用车主动后轮转向器总成在齿条位于中间位置时, 在齿条两侧沿轴向方向同时施加载荷, 记录齿条位移和载荷的关系曲线。

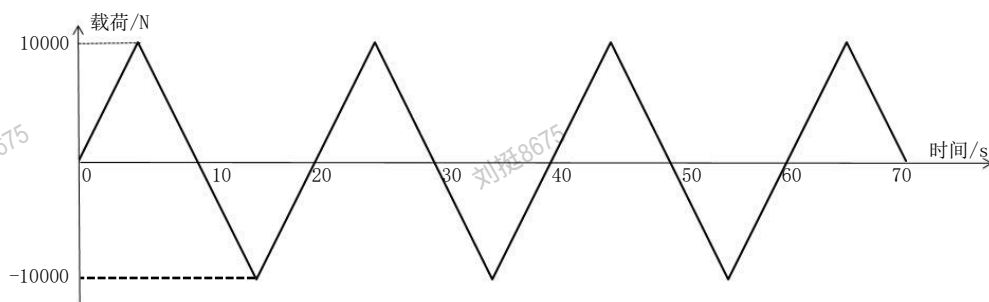


图2 轴向刚度及间隙试验载荷曲线示意图

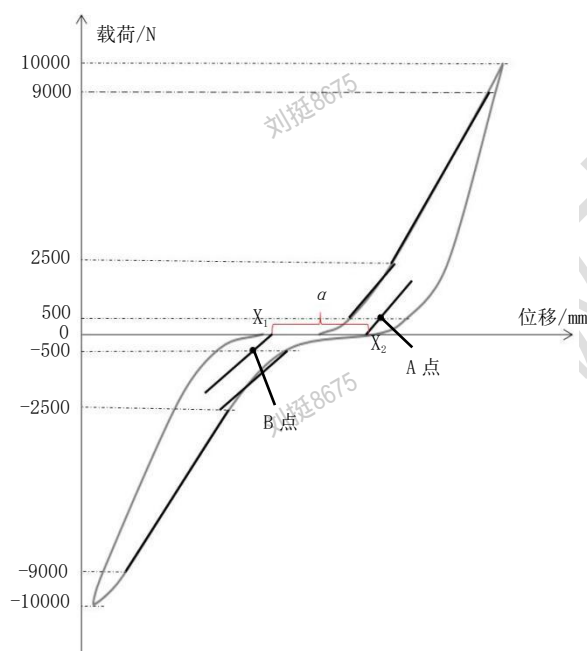


图3 齿条位移和载荷的关系曲线示意图

接收标准:

表2 轴向刚度及间隙试验接收标准

载荷范围	轴向刚度	轴向间隙
0.5kN - 2.5kN	15kN/mm	应不大于 0.1mm
2.5kN - 9kN	40kN/mm	应不大于 0.1mm

5.2 径向刚度及间隙试验

乘用车主动后轮转向器总成在齿条分别位于中间和左右极限位置时，在齿条末端沿径向施加±1000N的载荷，加载速度100N/s，记录齿条位移和载荷的关系曲线。

接收标准：刚度满足制造商要求；间隙应不大于0.3mm

5.3 自锁性能试验

5.3.1 静态漂移测试

从齿条两端沿轴向分别施加±12.5kN，合力为25kN的脉冲载荷，并保持5s，重复至少5次，记录试验过程中齿条位移和时间的关系曲线。

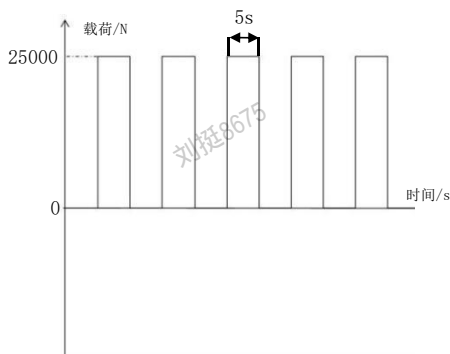


图 4 静态漂移载荷示意图

接收标准：齿条平均轴向位移速度应不大于 1.6mm/s ，最大位移量应不大于 1mm 。

5.3.2 动态漂移测试

从齿条两端沿轴向分别施加频率为 2Hz ， $\pm 7500\text{N}$ 的脉冲载荷，重复至少 20 次，记录试验过程中齿条位移和时间的关系曲线。

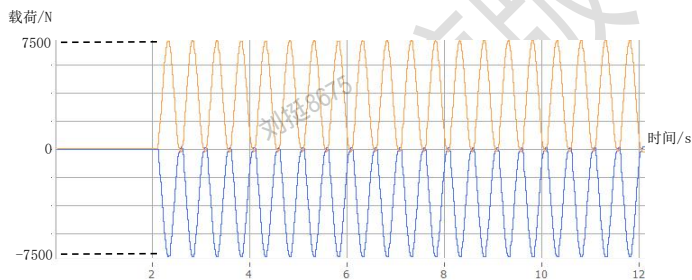
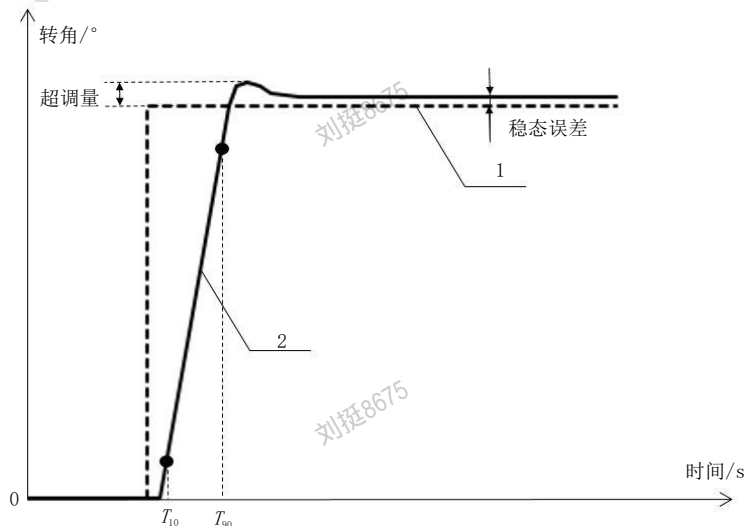


图 5 动态漂移测试载荷示意图

接收标准：齿条平均轴向位移速度应不大于 1.6mm/s ，最大位移量应不大于 1mm 。

5.4 阶跃响应试验

乘用车主动后轮转向器总成齿条位于中间位置，在齿条两侧沿轴向方向同时施加载荷，通过上位机发送位置阶跃信号，记录试验过程中齿条位移和时间的关系曲线，并在曲线上读取 T_{10} 、 T_{90} 、超调量及稳态误差值。



标引序号说明：

1——目标位置；

2——实测位置。

图 6 阶跃响应试验分析示意图

齿条载荷与阶跃响应信号的对应关系应符合表 3 的规定：

表 3 阶跃响应试验设置参数表

步骤	载荷 (N)	位移 (mm)	重复次数
1	0	+5	5
2	0	-5	5
3	$50\%*F_{max}$	+5	5
4	$50\%*F_{max}$	-5	5
5	F_{max}	+5	5
6	F_{max}	-5	5

接收标准：T10 应不大于 150ms，T90 应不大于 450ms，超调量应不大于 0.1mm；稳态误差应不大于 0.1mm。

5.5 正弦扫频试验

乘用车主动后轮转向器总成齿条位于中间位置，在齿条两侧沿轴向方向同时施加载荷，通过上位机发送正弦扫频信号，记录试验过程中齿条位移和时间的关系曲线。

正弦扫频试验参数应符合表 4 的规定：

表 4 正弦扫频试验参数

步骤	载荷 (N)	频率 (Hz)	位移 (mm)	重复次数
1	0	范围：(0.1~2.0)； 步长0.1	2	5
2	0	范围：(0.1~2.0)； 步长0.1	-2	5
3	1000	范围：(0.1~2.0)； 步长0.1	2	5
4	1000	范围：(0.1~2.0)； 步长0.1	-2	5
5	2000	范围：(0.1~2.0)； 步长0.1	2	5
6	2000	范围：(0.1~2.0)； 步长0.1	-2	5

7	6000	0.25	α_{max}	5
8	6000	0.25	$-\alpha_{max}$	5

接收标准：请求值和实际值之间的相位差应不大于 80°，幅值变化应不大于 10%。

5.6 助力性能试验

乘用车主动后轮转向器总成齿条位于中间位置，在齿条两侧沿轴向方向同时施加载荷，通过上位机发送位置阶跃信号，记录试验过程中齿条移动速度。

阶跃信号和载荷的关系应符合表 5 的规定：

表 5 助力性能试验参数

步骤	载荷 (N)	行程 (mm)	重复次数
1	0	α_{max}	5
2	2000	α_{max}	5
3	-2000	α_{max}	5
4	$50\%*F_{max}$	α_{max}	5
5	$-50\%*F_{max}$	α_{max}	5
6	F_{max}	α_{max}	5
7	$-F_{max}$	α_{max}	5

接收标准：齿条载荷和位移速度应满足图 7 的要求

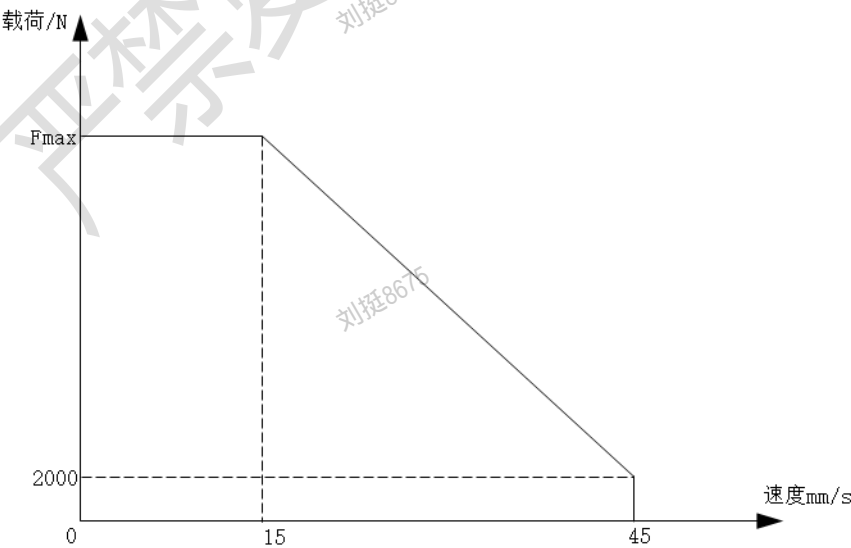


图 7 助力性能曲线

5.7 软止点保护试验

乘用车主动后轮转向器总成齿条位于中间位置，在齿条两侧沿轴向方向同时施加载荷，通过上位机发送位置阶跃信号，以全性能阶跃运动到软止点位置，记录试验过程中齿条位移和时间关系曲线。

表 6 软止点保护试验参数

步骤	载荷 (N)	行程 (mm)	移动速度(mm/s)	重复次数
1	0	α_{max}	全性能	5
2	0	$-\alpha_{max}$	全性能	5
3	200	α_{max}	全性能	5
4	200	$-\alpha_{max}$	全性能	5
5	F_{max}	$\alpha_{max}+0.5\text{mm}$	1	5
6	F_{max}	$-\alpha_{max}+0.5\text{mm}$	1	5

接收标准：无超调。

5.8 过温保护试验

- 将乘用车主动后轮转向器总成安装在环境箱内，环境温度为 $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 以 20% 的最大行程为振幅进行正弦往返运动，频率为 0.5Hz，负载为 10kN
- 测试持续进行直至触发温度降级保护功能。
- 测试时记录环境温度和执行器内部温度以及工作时间。

接收标准：助力降级功能满足设定要求

5.9 复位精度试验

5.9.1 乘用车主动后轮转向器总成齿条位于中间位置，在齿条两侧沿轴向方向同时施加载荷，通过上位机发送位置请求信号，乘用车主动后轮转向器总成到达目标位置后，关闭电源等待 2 s，然后重新开启电源，并向乘用车主动后轮转向器总成发送位置为 0 的控制信号。测量并记录乘用车主动后轮转向器总成的齿条位移。

测试过程中的负载、行程和位移速度关系应符合表 7 的规定：

表 7 复位精度试验参数

步骤	负载 (N)	行程 (mm)
1	0	1
2	0	-1
3	$50\%*F_{max}$	1
4	$50\%*F_{max}$	-1
5	F_{max}	1
6	F_{max}	-1

表 7（续）

步骤	负载（N）	行程（mm）
7	0	$50\%*a_{max}$
8	0	$-50\%*a_{max}$
9	$50\%*F_{max}$	$50\%*a_{max}$
10	$50\%*F_{max}$	$-50\%*a_{max}$
11	F_{max}	$50\%*a_{max}$
12	F_{max}	$-50\%*a_{max}$
13	0	a_{max}
14	0	$-a_{max}$
15	$50\%*F_{max}$	a_{max}
16	$50\%*F_{max}$	$-a_{max}$
17	F_{max}	a_{max}
18	F_{max}	$-a_{max}$

接收标准：复位精度应不大于 0.1mm。

5.10 耐久试验

5.10.1 逆向疲劳试验

乘用车主动后轮转向器总成在齿条位于中间位置、下电状态下，在齿条两侧沿轴向方向施加 300N，20Hz 的疲劳载荷，总共完成 10000000 次循环。

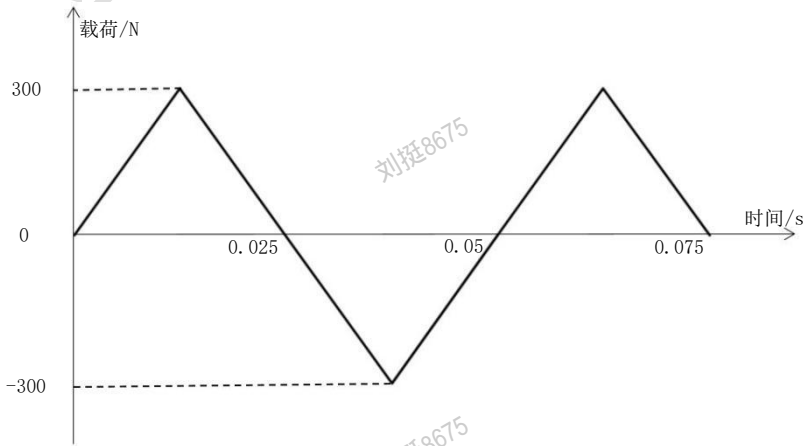


图 8 逆向疲劳载荷曲线

接收标准：所有零件不应出现变形、裂纹、异常磨损等问题；

5.10.2 磨损试验

5.10.2.1 应按符合图9的规定进行一个循环进行试验，乘用车主动后轮转向器总成两侧输出端载荷与输入转角的关系见应符合表8的规定。



标引序号说明：

- 1——位移信号；
- 2——齿条右侧负载；
- 3——齿条左侧负载。

图9 磨损试验曲线示意图

表8 磨损试验参数设置表

序号	行程 (mm)	负载 (N)		移动速度 (mm/s)
		右侧负载 (N)	左侧负载 (N)	
1	0	0	0	10
2	$0.1 a_{Dmax}$	$0.3 * F_{Dmax}$	$0.3 * F_{Dmax}$	10
3	$0.65 a_{Dmax}$	$0.47 * F_{Dmax}$	$0.3 * F_{Dmax}$	10
4	$0.9 a_{Dmax}$	$0.67 * F_{Dmax}$	$0.33 * F_{Dmax}$	10
5	a_{Dmax}	$0.67 * F_{Dmax}$	$0.33 * F_{Dmax}$	10
6	a_{Dmax}	$0.67 * F_{Dmax}$	$0.33 * F_{Dmax}$	10
7	a_{Dmax}	$0.3 * F_{Dmax}$	$0.13 * F_{Dmax}$	10
8	$0.85 a_{Dmax}$	$-0.3 * F_{Dmax}$	$-0.3 * F_{Dmax}$	10
9	0	$-0.3 * F_{Dmax}$	$-0.3 * F_{Dmax}$	10
10	$-0.65 a_{Dmax}$	$-0.3 * F_{Dmax}$	$-0.47 * F_{Dmax}$	10
11	$-0.9 a_{Dmax}$	$-0.33 * F_{Dmax}$	$-0.67 * F_{Dmax}$	10
12	$-a_{Dmax}$	$-0.33 * F_{Dmax}$	$-0.67 * F_{Dmax}$	10
13	$-a_{Dmax}$	$-0.33 * F_{Dmax}$	$-0.67 * F_{Dmax}$	10
14	$-a_{Dmax}$	$-0.13 * F_{Dmax}$	$-3 * F_{Dmax}$	10
15	$-0.85 a_{Dmax}$	$0.3 * F_{Dmax}$	$0.3 * F_{Dmax}$	10

16	$-0.01 \alpha_{Dmax}$	$0.3 * F_{max}$	$0.3 * F_{max}$	10
17	0	0	0	10

5.10.2.2 除施加载荷外，在试验过程中叠加温度交变循环，一个循环的温度交变试验条件见表 9。试验时应先在目标环境温度下保温规定的时间，然后在同一环境温度下按 5.10.2.1 进行磨损试验。根据表 9 要求总共完成 10 个循环。

表 9：磨损试验温度交变设置参数

试验顺序	环境温度 ℃	保温时间 min	磨损试验	
			间隔时间 s	循环次数 次
1	30 ± 3	60	5	564
2	55 ± 3	30	5	1504
3	70 ± 3	30	5	940
4	23 ± 3	30	5	564
5	-40 ± 3	60	5	188

接收标准：所有零件不应出现变形、裂纹、异常磨损等问题。

5.11 强度试验

5.11.1 拉伸强度试验

乘用车主动后轮转向器总成在齿条位于中间位置、下电状态下，在齿条一侧沿轴向方向施加载荷拉伸齿条，加载速度为 50mm/min。

工况 1：轴向载荷逐步加载到 F_{max} 后卸载，评估乘用车主动后轮转向器总成的塑性变形量。

工况 2：重新施加轴向载荷直至测试样件断裂或载荷到达 60kN。

接收标准：最大负载 F_{max} 时的塑性变形量应不大于 0.5mm；样件断裂时的载荷应不小于 60kN

5.11.2 压缩强度试验

乘用车主动后轮转向器总成在齿条位于中间位置、下电状态下，在齿条一侧沿轴向方向施加载荷压缩齿条，加载速度为 50mm/min。

工况 1：轴向载荷逐步加载到 F_{max} 后卸载，评估乘用车主动后轮转向器总成的塑性变形量。

工况 2：重新施加轴向载荷直至测试样件断裂或载荷到达 60kN。

接收标准：最大负载 F_{max} 时的塑性变形量应不大于 0.5mm；样件断裂时的载荷应不小于 60kN

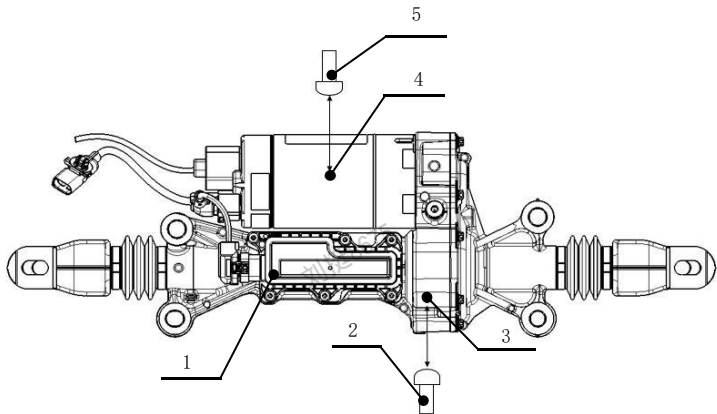
5.12 噪声试验

5.12.1 客观评价

乘用车主动后轮转向器总成齿条位于中间位置，在齿条两侧沿轴向方向施加载荷，车速信号设为 0Km/h，齿条负载设置为 0.9*最大载荷，乘用车主动后轮转向器总成以 15mm/s 速度运行。

如图 10 所示，在测量点垂直方向布置 2 个加速度传感器，距测量点垂向方向 500 mm 处布置 2 个麦克风。

接收标准：通过麦克风采集的声音分贝值应不大于 50db，加速度值作为参考。



标引序号说明：
1——乘用车主动后轮转向器总成；
3、4——测量点；
2、5——麦克风。

图 10 噪声测量试验示意图

5.12.2 主观评价

乘用车主动后轮转向器总成在车辆直行或转向过程中不应出现客户不能接受的异响。

5.13 功能安全验证

功能安全验证可参照 GB 17675-2021 中 B3.3 规定的方法，验证的结果应符合 4.3 中的功能安全要求。

5.14 环境试验

5.14.1 低温

依据 GB/T 2423.1 规定的方法，将乘用车主动后轮转向器总成放置在-40℃条件下持续 24h，产品应能满足 GB/T 28046.1 中功能状态 A 级的要求。

5.14.2 高温

依据 GB/T 2423.2 规定的方法，将乘用车主动后轮转向器总成放置在+85℃温度下持续 96h，产品应能满足 GB/T 28046.1 中功能状态 C 级的要求。

5.14.3 高低温交变

依据 GB/T 2423.22 规定的方法，将乘用车主动后轮转向器总成放置在-40℃低温环境中保持 2h，然后再提高至+65℃高温环境中保持 2h，完成 5 个循环，试验后产品应能满足 GB/T 28046.1 中功能状态 A 级的要求。

5.14.4 温度/湿度组合循环

依据 GB/T2423.34 规定的方法，将乘用车主动后轮转向器总成放置在-10℃~+65℃环境中完成 10 个温度/湿度组合循环试验，每个循环为 24h，试验后产品应能满足 GB/T 28046.1 中功能状态 A 级的要求。

5.14.5 盐雾

依据 GB/T2423.17 规定的方法，乘用车主动后轮转向器总成经 240h 的盐雾试验后，检查表面腐蚀白斑面积是否出现红锈斑点，漆膜应符合 QC/T 484 中 TQ6 的要求。

5.14.6 泥水试验

试验泥水要求：

- a) 泥水比例：60 L 水、9 kg 沙子、4.5 kg 石灰、0.6 kg 氯化钠 (NaCl) 或者氯化钙 (CaCl₂)；
- b) 泥水温度：(23±3)℃。

喷嘴要求：

试验用泥水喷嘴应满足如下要求：

- a) 喷嘴孔径为 Φ1.5 mm；
- b) 喷嘴数量为 8 个；
- c) 单个喷嘴流量为 (3±1) L/min；
- d) 喷嘴布置覆盖整个转向器总成。

将乘用车主动后轮转向器总成按实车状态固定在高低温箱内，连接带线束的实车插接件，丝杠处于中间位置。按图 11 所示，一个循环的试验条件进行 20 个循环试验，温度转换时间不应超过 70 min。

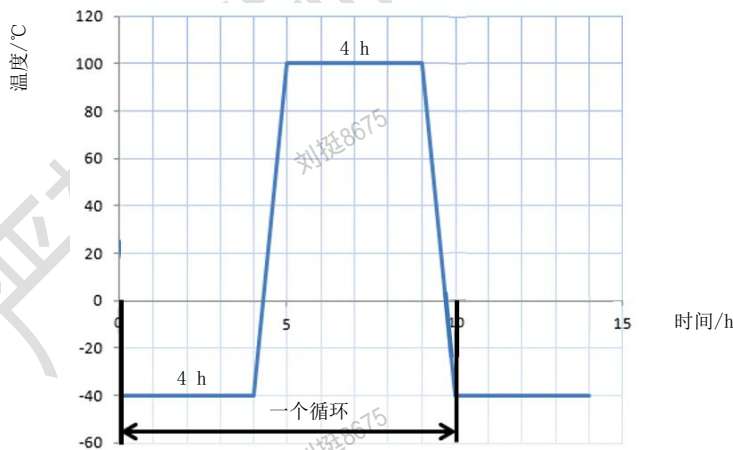


图11 泥水喷溅试验一个循环示意图

使乘用车主动后轮转向器总成在两极限位置间往返转动，运行速度不小于 20 mm/s，共进行 100 000 个转向循环。试验过程中，环境温度按图 12 所示变化，当环境温度为室温时，进行泥水喷射。

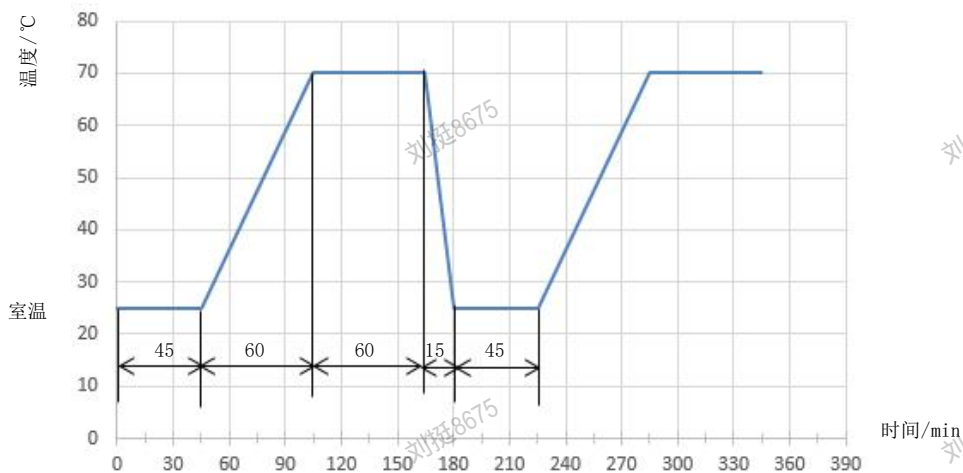


图12 泥水喷溅试验温度曲线示意图

接收标准：零件表面没有破损，拆解后无泥水侵入乘用车主动后轮转向器总成内部；试验过程中功能正常，无故障产生。

5.15 随机振动试验

依据 GB/T 28046.3 中 4.1.2.4 规定的方法，乘用车主动后轮转向器总成每个轴向的试验持续 8h，不应出现损坏。试验后产品应能满足 GB/T 28046.1 中功能状态 A 级的要求。

5.15.1 电磁兼容

5.15.1.1 无线电骚扰特性

应符合GB/T 18655 中限值的III级水平的要求。

5.15.1.2 电磁辐射抗扰性

应符合GB/T 17619 规定的要求。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 30 V/m，大电流注入法抗扰性电平限值 60mA。

5.15.1.3 静电放电产生的电骚扰

应符合 GB/T19951 规定的试验等级III进行试验，车速为 8km/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。

5.15.1.4 沿电源线的电瞬态传导

应符合 GB/T 21437.2 规定的试验等级III的要求。