

团 体 标 准

T/GAEPA003 - 2024

线控转向技术要求 and 试验方法

Steering-by-wire Technical Requirements and Test Methods

(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。

2024-*-* 发布

2024-*-* 实施

广东省汽车智能网联发展促进会发布

目 次

前 言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 技术要求 5

5 试验方法 9

前 言

本标准《线控转向技术要求和试验方法》适用于乘用车线控转向系统。

本标准统一明确乘用车线控转向系统的技术要求和试验方法，特制定本标准。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布单位不承担识别所涉及专利的责任。

本标准由广东省汽车智能网联发展促进会组织提出。

本标准参加单位：XXX、XXX、XXX、XXX。

本标准主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX。

本标准首次制定发布。

线控转向技术要求和试验方法

1 范围

本标准规定了线控转向的技术要求和试验方法。

本标准适用于匹配线控转向系统的所有乘用车。

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 6323 汽车操纵稳定性试验方法

GB 34590 道路车辆 功能安全

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 线控转向

线控转向（SBW，steering by wire）是一种新型的转向系统，与传统转向相比，取消了转向盘和转向轮之间的机械连接，其角位移传递和力矩传递都是通过传感器、控制器和电机实现的，相互之间可以独立进行，具体结构见下图1。

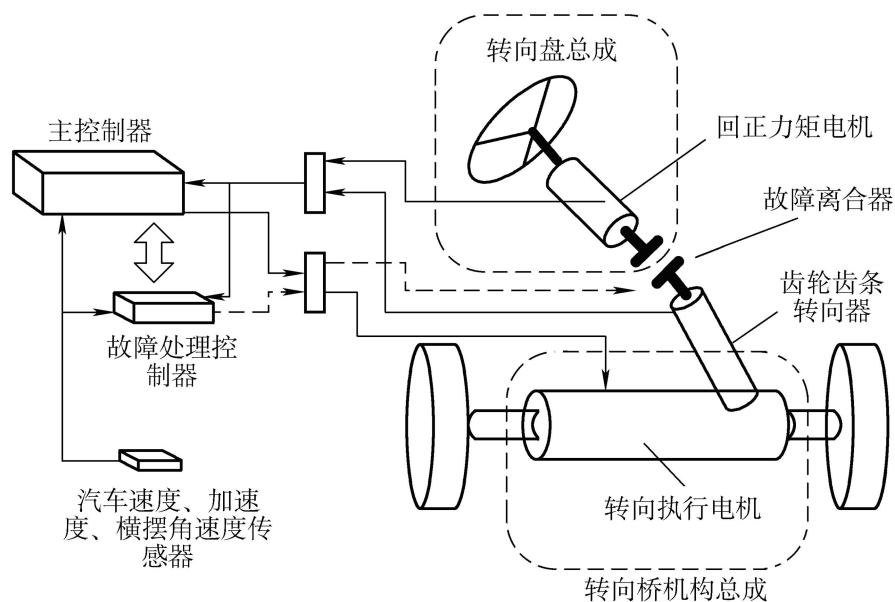


图1 线控转向结构示意图

3.2 路感模拟模块

线控转向的重要组成模块（含机械件和控制器），由于线控转向取消了转向盘与车辆间机械连接，路面负载反馈无法传递到转向盘，路感模拟模块替代该功能，模拟车辆路感信息。

3.3 转向执行模块

线控转向的重要组成模块(含机械件和控制器)其直接与车辆相连,通过控制器间的通讯接收来自路感模拟模块传递的转向盘转角和转矩,并输出相应的转向动作。

3.4 转向盘最大转角 θ_{max}

从车辆直行位置开始,转向盘向左或向右转动到极限位置时转角。

3.5 最大齿条力 F_{max}

整车满载情况下,在全车速和整个转向行程范围内,施加在转向器齿条轴向方向上的最大力,通常为原地怠速转向时转向极限位置时的齿条力,可通过理论计算或实车测试获得。

3.6 转向时间

从转向盘开始动作到转向车轮达到特定转向角所需的时间。

3.7 转向传动比

转向盘从一侧极限位置到另一侧极限位置时所转过的角度,与转向车轮转过的平均转角(左右转向车轮转角之和的一半)之间的比值。

4 技术要求

4.1 一般要求

- 4.1.1 线控转向系统总成应符合本标准规定,并按规定程序批准的图样和技术文件制造。
- 4.1.2 转向盘操纵的方向应与车辆行驶方式一致,且车轮应与转向盘的偏转连续对应。
- 4.1.3 在不同的车速条件下,以不同转速在转向全行程范围内转动转向盘,转动过程平滑,无卡滞,无明显噪音或者振动,无明显手力不对称,至任意角度停止输入时不应有惯性延时现象出现。
- 4.1.4 线控转向系统的功能安全要求,应按照 GB 34590 制定。

4.2 工作环境

- 1) 额定电压: 12V (DC) ;
- 2) 工作温度: -40C ~ 120C (机械件), -40C ~ 85C (电气件)。

4.3 系统性能

4.3.1 转向手感

4.3.1.1.转向力矩

系统通电工作,在转向全行程范围内,不同车速和齿条力负载条件下,转向盘转速和转向盘输入扭矩之间的关系需满足下表 1。

表 1 转向性能要求

车速 (km/h)	齿条力 (N)	转向盘转速 (°/s)	输入扭矩 (Nm)
-----------	---------	-------------	-----------

0	F_{max}	30	< 3
		300	< 3.5
10	50% F_{max}	500	< 4
80	40% F_{max}	800	< 8

4.3.1.2 转向刚度

系统通电工作，在转向中心区范围内，平均转向刚度 (0.2-0.4) $Nm/^\circ$ 。

4.3.1.3 转向摩擦力矩

系统通电工作，转向全行程范围内，摩擦力矩 $\leq 4Nm$ 。

4.3.1.4 转向行程限位特性

系统通电工作，转向至转向盘最大转角后，转向力矩快速上升，力矩刚度 $\geq 20Nm/^\circ$ 。

4.3.1.5 扭矩波动

系统通电工作，扭矩波动不大于平均扭矩的0.3倍，具体见下图 2。

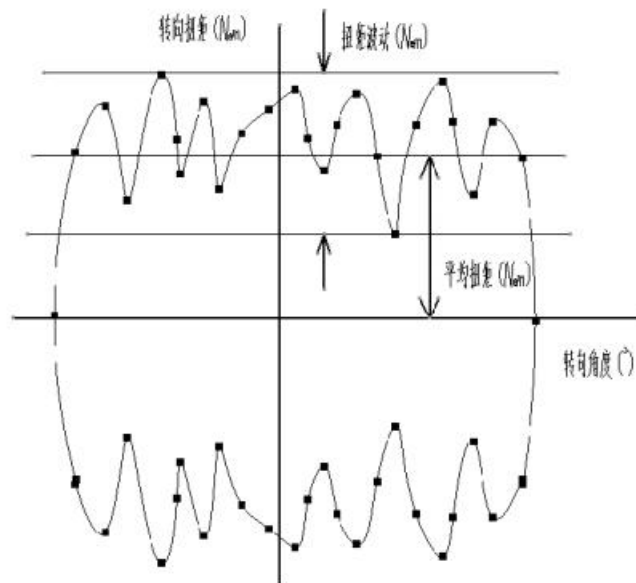


图 2 转角-扭矩特性曲线

4.3.2 转向传动比特性

线控转向系统可实现定转向传动比和变转向传动比：

- a) 定转向传动比：传动比不随车速变化，传动比应处于 14-16.5 范围内。
- b) 变传动比特性：传动比随车速变化而变化，保持车辆横摆角速度增益不变，传动比应处于(8-24)范围内。

4.3.3 助力特性

- a) 齿条最大输出力 $> F_{max}$ ；

b) 左右输入扭矩差：当齿条力 $F_1=95\%F_{max}$ ， $F_2=20\%F_{max}$ 时，应满足如下要求：

$$|R(F_1)-L(F_1)| \leq 0.59Nm, \quad |R(F_2)-L(F_2)| \leq 0.59Nm, \quad \text{见下图 3.}$$

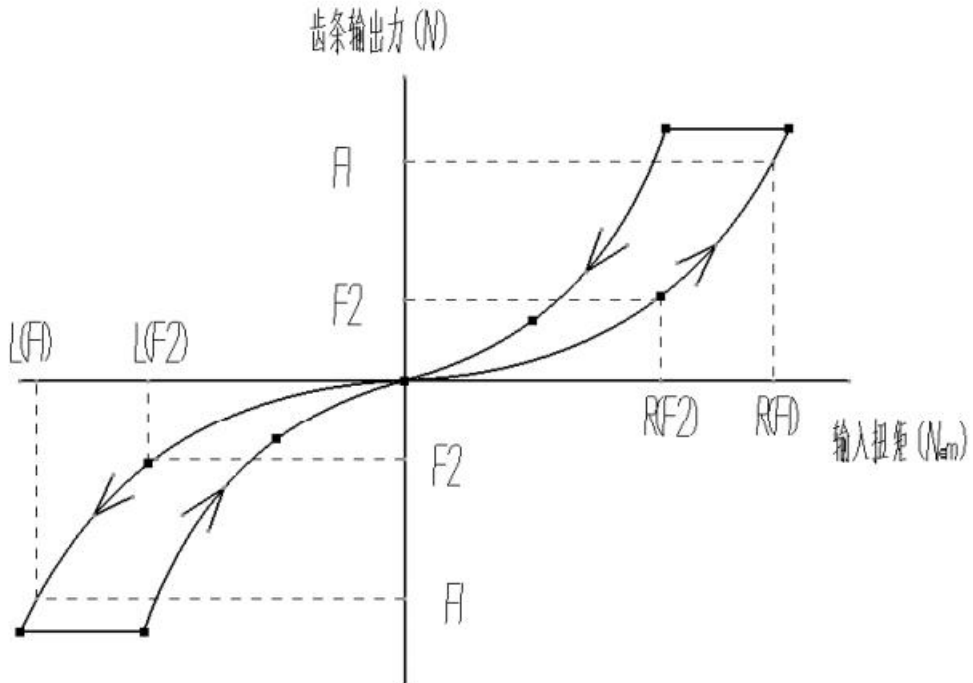


图3 扭矩-齿条力特性曲线

c) 输入扭矩滞后：当齿条力 $F \geq 1000N$ 时，应满足输入扭矩 $T_2/T_1 \geq 0.7$ ，见，下图 4。

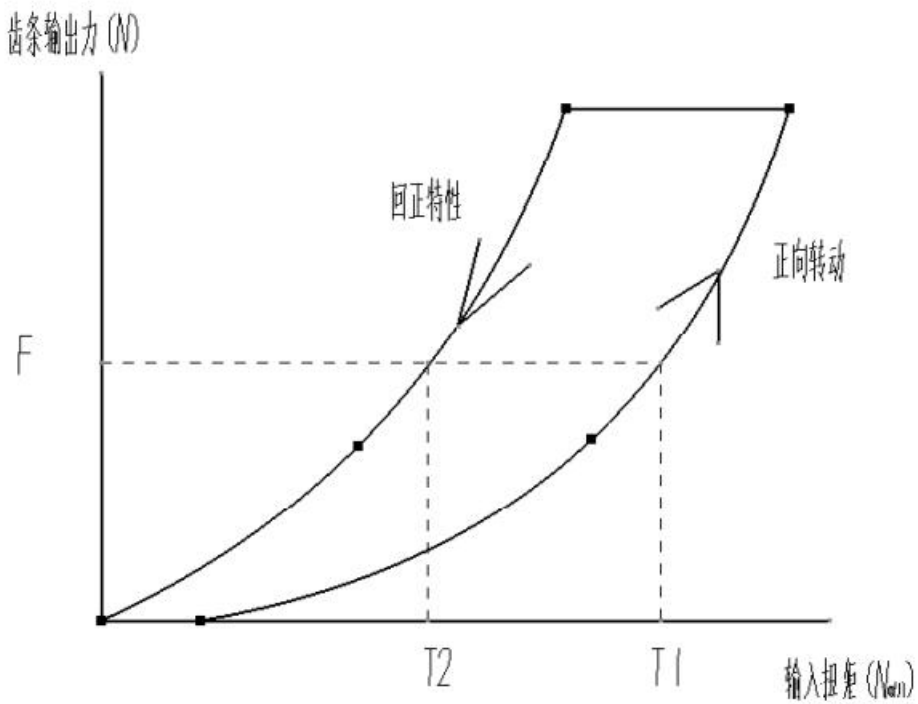


图4 扭矩-齿条力特性曲线

4.3.4 转向响应

4.3.4.1 阶跃转向

- a) 响应延迟时间 $T_d \leq 40\text{ms}$
- b) 稳态响应时间 $T_{ss} \leq 500\text{ms}$
- c) 稳态响应误差 $e_{ss} \leq 0.1$

4.3.4.2 斜坡转向

- a) 响应延迟时间 $T_d \leq 40\text{ms}$
- b) 稳态响应时间 $T_{ss} \leq 700\text{ms}$
- c) 稳态响应误差 $e_{ss} \leq 0.1$

4.3.4.3 正弦转向

- a) 响应延迟时间 $T_d \leq 400\text{ms}$
- b) 稳态响应时间 $T_{ss} \leq 1\text{s}$
- c) 稳态响应误差 $e_{ss} \leq 0.1$

4.3.5 助力热保护控制

系统通电工作，齿条限位工况下助力电机过热保护不启动，齿条最大输出力 $> F_{\max}$ 。

4.3.6 工作噪音

系统通电工作，对工作噪音进行测试，并满足以下要求：

- a) 齿条加载 $50\% F_{\max}$ ， $400^\circ/\text{s}$ 转向盘转速条件下，工作噪音 $< 48\text{dB}$ ；
- b) 齿条加载 $50\% F_{\max}$ ， $600^\circ/\text{s}$ 转向盘转速条件下，工作噪音 $< 54\text{dB}$ ；
- c) 齿条无负载， $360^\circ/\text{s}$ 转向盘转速条件下，工作噪音 $< 47\text{dB}$ 。

4.3.7 冲击噪音

系统通电工作，冲击噪音 $< 54\text{dB}$ 。

4.3.8 逆向冲击

系统通电助力，对系统施加 $300\% F_{\max}$ 冲击力，各零部件不可以出现裂痕或者断裂，转向拉杆不能有可观察到的弯曲变形，且满足4.1.2和4.1.3要求。

4.3.9 耐低温

系统通电助力， -40°C 的恒温室内对系统进行100个工作循环后，各零部件无损坏、无异常，且满足4.3.1和4.3.4的要求。

4.3.10 温度冲击

系统不工作，在 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ 温度范围内对系统进行20个循环的温度冲击后，转向

系统各零部件无损坏、无异常，且满足4.3.1和4.3.4的要求。

4.3.11 限位耐久

系统通电助力，对系统向左右两个方向各进行 3×10^4 个循环的限位动作后，系统各零部件不应有过度磨损、断裂、螺栓松动现象，且满足4.3.1和4.3.4的要求。

4.3.12 扭转耐久

系统通电助力，对系统进行 1.5×10^4 次循环的扭转试验后，系统各零部件应无损坏、无异常，且满足4.3.1和4.3.4的要求，同时装车评价不允许出现异响。

5 试验方法

5.1 试验条件

除另有规定外，所有试验应按下列条件运行。

- a)环境温度: $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- b)相对湿度 $\leq 95\%$;
- c)EPS工作电源电压: $12\text{V} \pm 0.3\text{V}$;
- d)相关线束电阻: $28\text{m}\Omega \pm 0.7\text{m}\Omega$;
- e)转向速度: $12^\circ/\text{s} \pm 1^\circ/\text{s}$ 。

5.2 试验方法

5.2.1 转向手感

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电，按表1中规定，在不同的模拟车速信号下，通过转向拉杆在转向器齿条上加载不同的齿条力，按不同转速转动方向盘并测量方向盘上的输入扭矩，输入下图5所示的力矩-转角曲线。

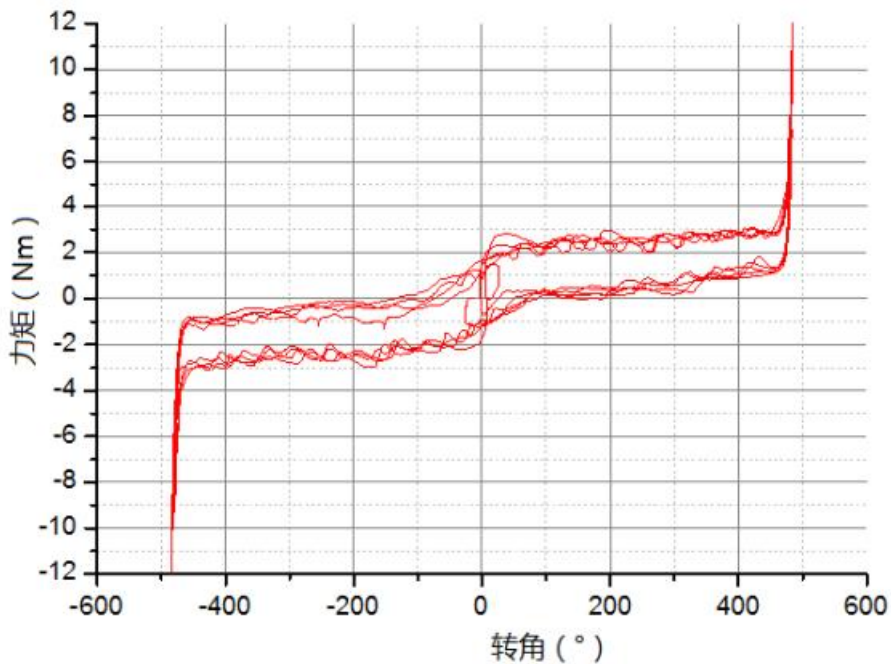


图5 力矩-转角曲线

- 1) 要求车速，齿条力，转向盘转速和输入扭矩之间关系满足4.3.1.1中的表1。
- 2) 取 $\pm 10^\circ$ 转角范围内曲线的平均斜率，即力矩刚度，要求满足4.3.1.2的要求。
- 3) 转角为零 (横坐标)为零处的纵坐标迟滞区，即为摩擦力矩，要求满足4.3.1.3的要求。
- 4) 方向盘最大转角后一段曲线斜率，即为转向限位扭矩刚度，要求满足4.3.1.4的要求。
- 5) 纵坐标与横坐标波峰与波谷差值，即为力矩波动，要求满足4.3.1.5的要求。

5.2.2 转向传动比特性

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电，转动转向盘，从一侧极限位置至另一侧极限位置，过程中测量转向盘转角和车轮内外转角，得出转向传动比，要求满足4.3.2的要求。

5.2.3 助力特性

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电。转向执行机构(转向器齿条)位于中间位置，其一端连接力传感器并固定，另一端空载，转动转向盘，从一侧极限位置到另一侧极限位置，获得助力曲线(齿条力VS输入扭矩)。

在以下车速信号下进行试验，要求满足4.3.3的要求。

- 1)0km/h; 2)20km/h; 3)40km/h; 4)80km/h; 5)120km/h。

5.2.4 转向响应

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电，按GB/T 6323试验方法分别进行阶跃转向、斜坡转向和正弦转向操作。

5.2.4.1 通过转向拉杆在转向器齿条上加载 $40\%F_{max}$ 以 $800^\circ/s$ 转速转向至 90° ，记录过程中转向盘转角与车轮转角，并将转向盘转角转化为目标车轮转角，得出目标车轮转角-时间、实际车轮转角-时间的曲线，见下图6，从曲线上得出响应延迟时间、稳态时间和稳态精度，要求满足4.3.4.1。

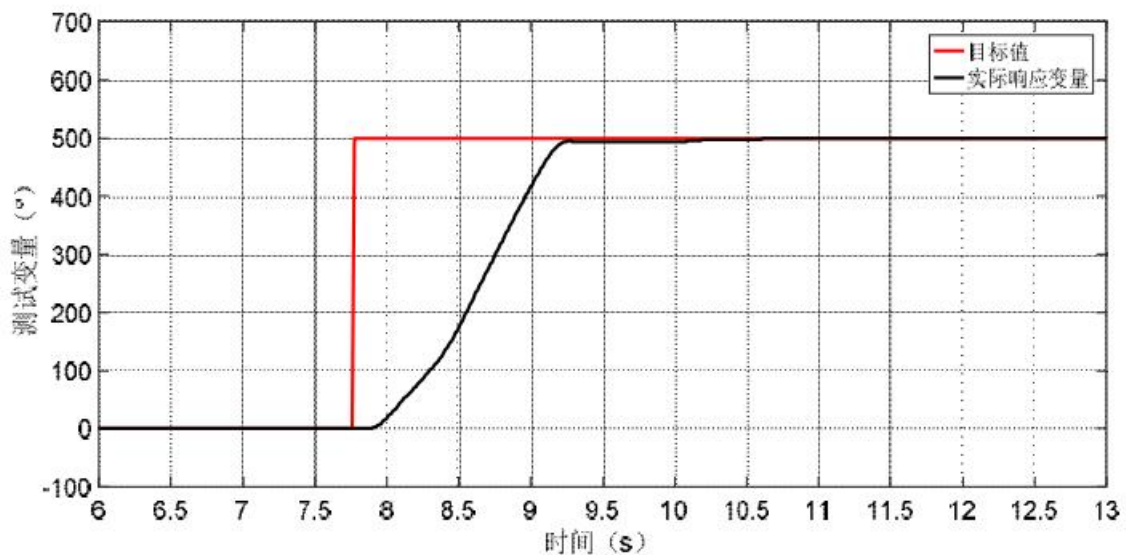


图6 阶跃转角响应

5.2.4.2 通过转向拉杆在转向器齿条上加载 $100\%F_{max}$ 以 $360^\circ/s$ 转速转向至 180° ，记录过程中转向盘转角与车轮转角，并将转向盘转向转化为目标车轮转角，得出目标车轮转角-时间、实际车轮转角-时间的曲线，从曲线上得出响应延迟时间、稳态时间和稳态精度，要求满足4.3.4.2。

5.2.4.3 通过转向拉杆在转向器齿条上加载 $100\%F_{max}$ 以 $500^\circ/s$ 转速转向至 $\pm 360^\circ$ ，记录过程中转向盘转角与车轮转角，并将转向盘转向转化为目标车轮转角，得出目标车轮转角-时间、实际车轮转角-时间的曲线，见下图7，从曲线上得出响应延迟时间、稳态时间和稳态精度，要求满足4.3.4.3。

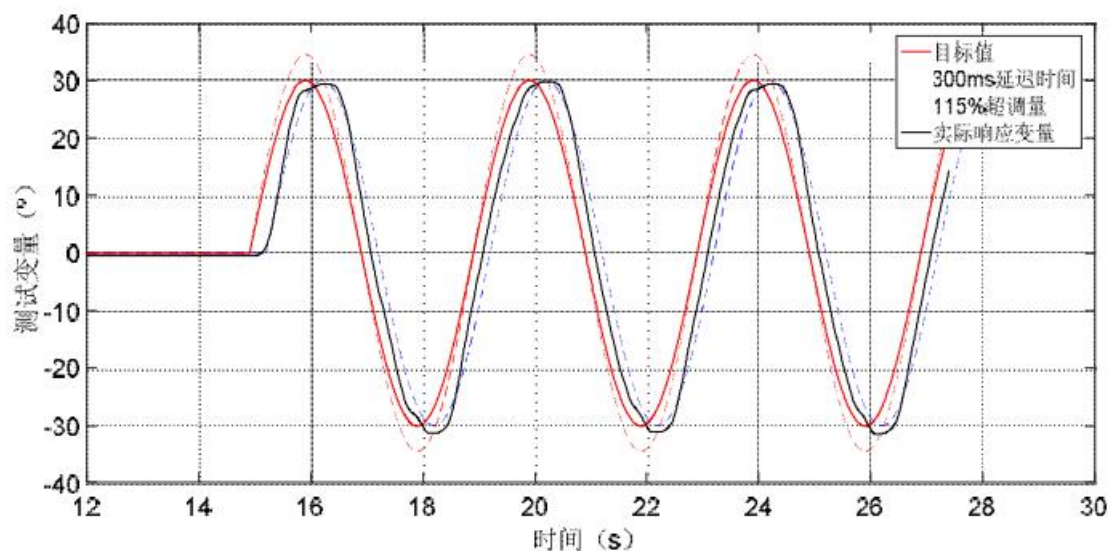


图7 正弦转角响应

5.2.5 助力热保护控制试验

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，齿条无负载，系统通电，分别在 20°C 和 65°C 环境温度下，以 $100^\circ/s$ 的速度转动方向盘，按图8所示运行10个循环的齿条限位工况后，要求满足4.3.5的要求。

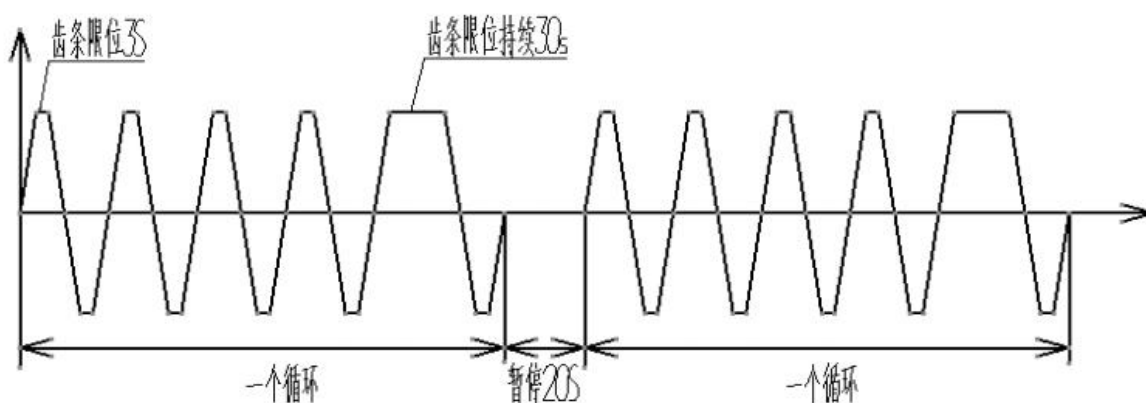


图8 齿条限位工况示意图

5.2.6 工作噪音试验

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电。通过一侧的拉杆对转向器齿条加载被动负载，另一端空载。转动转向盘使系统工作，在系统关键位置布置麦克风，测量相应频段的噪音，测试分以下3种工况，具体见表2，要求测试结果满足4.3.6的要求。

表2 工作噪音测试工况

项目	模式 1	模式 2	模式 3
齿条力	50% F_{max}		0
旋转方向	CW, CCW		CW, CCW
噪音频段	0.25KHZ ~ 2KHZ		3KHZ ~ 7KHZ
麦克风位置 L(见图 9)	150mm \pm 4mm		100mm \pm 2.5mm
转向盘转速	400 $^{\circ}$ /s \pm 10 $^{\circ}$ /s	600 $^{\circ}$ /s \pm 10/s	360 $^{\circ}$ /s \pm 10 $^{\circ}$ /s

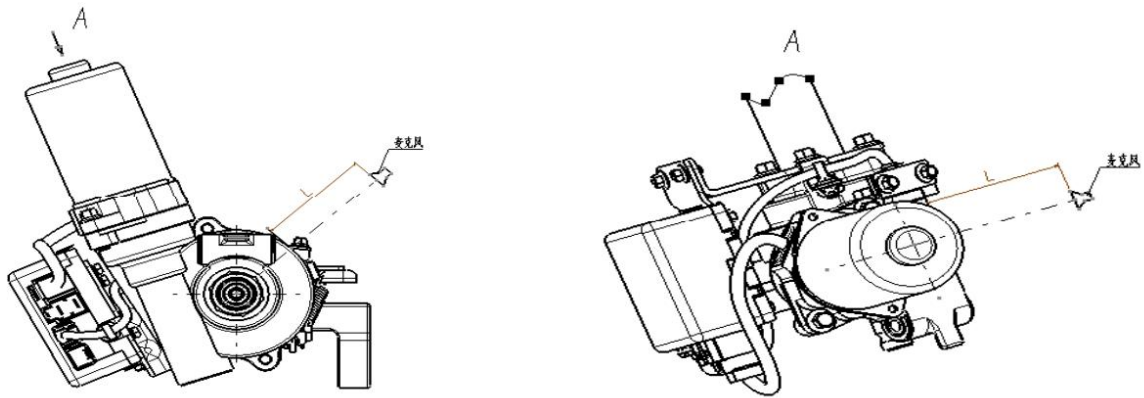


图9 麦克风布置示意图

5.2.7 冲击噪音试验

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，在系统关键位置布置麦克风，见图9，系统通电助力，转动转向盘使系统工作，测量0KHZ ~ 12.8KHZ频段内的噪音，要求满足4.3.7的要求。

- 1) 转角输入波形： $\pm(180 \pm 20^{\circ})$ ，见图10。
- 2) 施加扭矩：标准波形(0.04HZ \pm 0.001HZ)+叠加正弦波形(15HZ \pm 0.4HZ)。大小为 $\pm(5Nm \pm 0.5Nm)$ ，见图11。

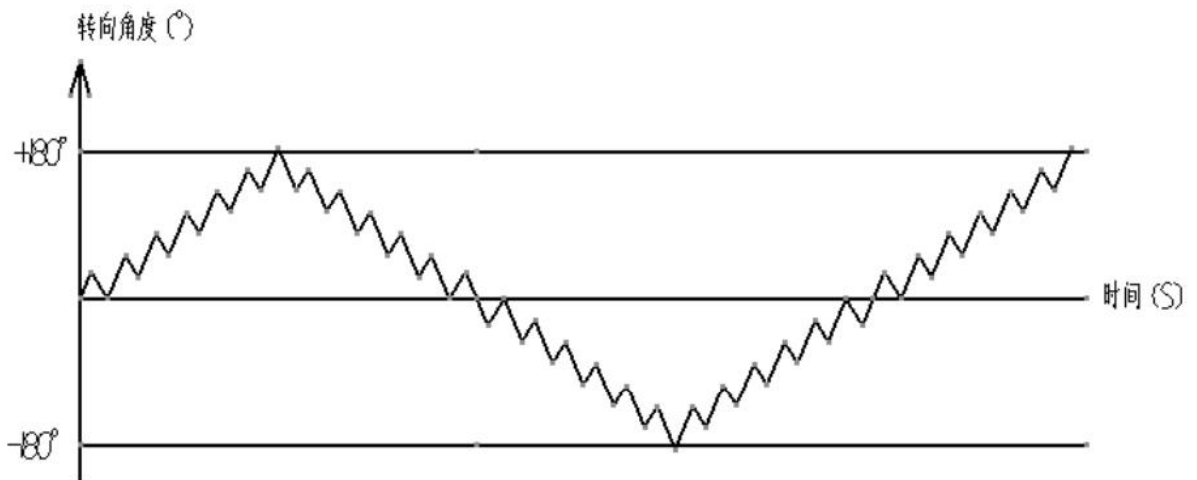


图10 转角动作示意图

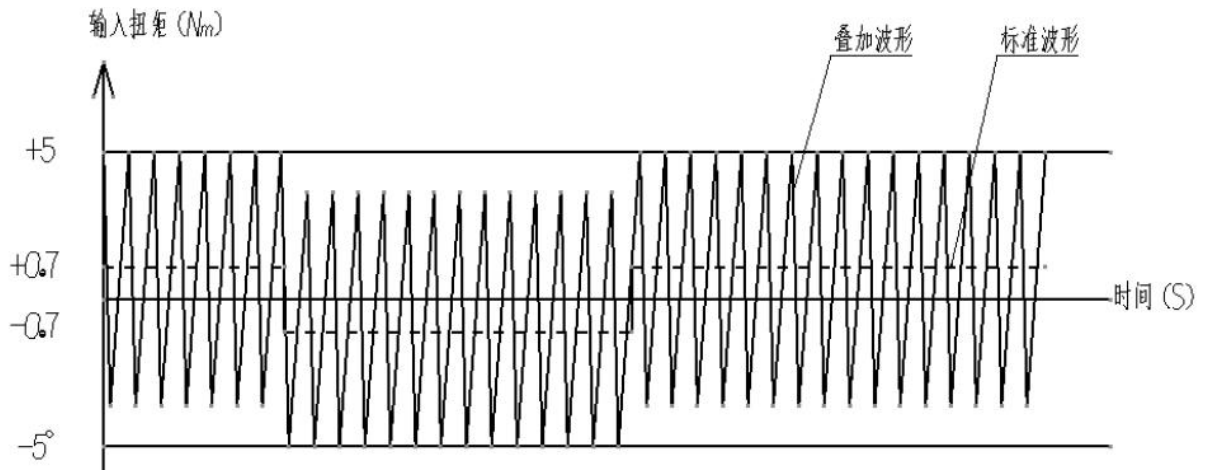


图11 加载波形示意图

5.2.8 逆向冲击试验

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电，转向器齿条处于中间位置，对转向拉杆左右两端施加冲击载荷，冲击载荷在0.1s需达到3倍的最大齿条力 F_{max} ，要求冲击完成后满足4.3.8的要求。

5.2.9 耐低温试验

按实车布置位置将转向系统固定安装在-40℃的恒温室内，系统通电，按以下条件进行试验，试验后需满足4.3.9的要求。

- 1) 转角输入波形：见图12；
- 2) 方向盘施加扭矩：进行循环1时，电机工作电流45A；
- 3) 车速：5km/h；
- 4) 试验周期：100个 (1个周期=循环1+循环2)。

转向角度 (°)

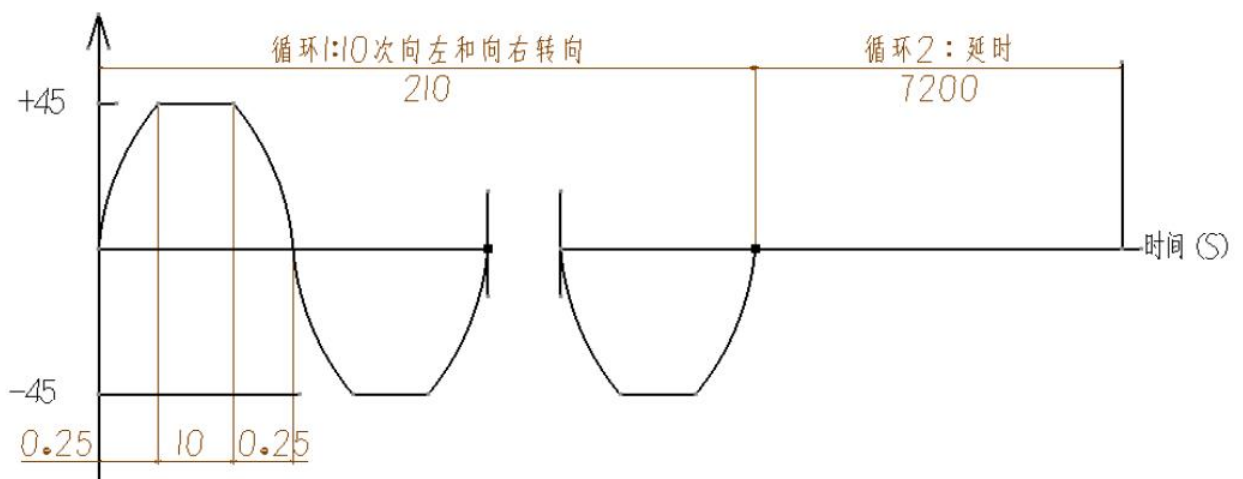


图12 低温循环定义图

5.2.10 温度冲击试验

将转向系统放置到如下条件中进行试验，具体见图13，试验期间系统不工作，试验后需满足4.3.10的要求。

- 1) 最高温度: $85\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- 2) 最低温度: $-40\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- 3) 持续时间: 3h;
- 4) 温度变化时间: 5min以内;
- 5) 试验周期: 20个;

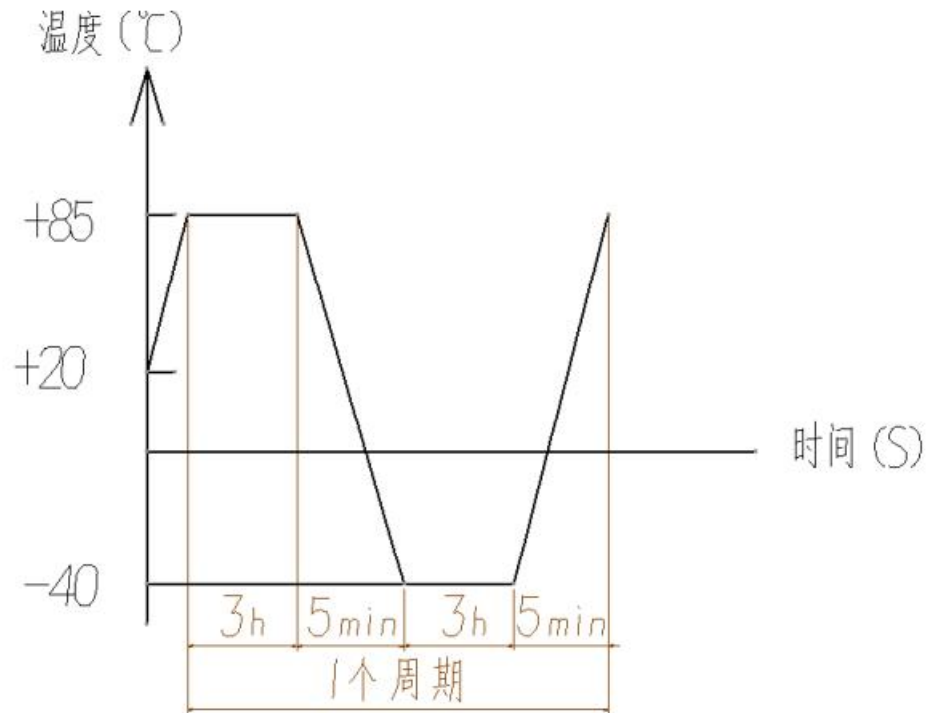


图13 热冲击循环工况定义图

5.2.11 限位耐久试验

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，系统通电，在转向器齿条上加载最大齿条力 F_{\max} ，以 $600^{\circ}/\text{s}$ 的角速度转向至极限位置(齿条限位)，然后回转角度 $40^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 为一个周期，见图 14，向左和向右各转动 3×10^4 周期。

在以下4种温度条件下进行试验，试验结果满足4.3.11的要求。

- 1) 在 $+85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 绝对干燥的条件下试验;
- 2) 在 $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 绝对干燥的条件下试验;
- 3) 在 $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 且蜗轮吸水率2.5%的条件下试验;
- 4) 在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的常温条件下试验。

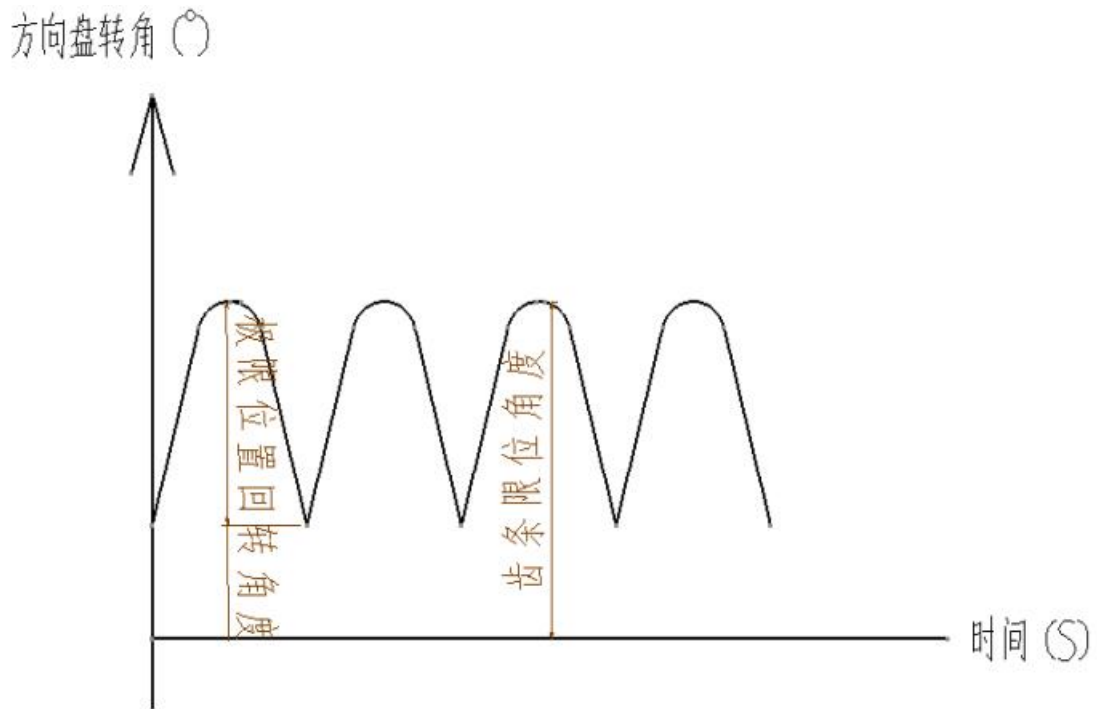


图14 限位耐久工况图

5.2.12 扭转耐久试验

按实车布置位置将转向系统固定安装于试验台架上并确保不扭动，EPS通电助力。由伺服电机连接管柱输入轴加载输入扭矩和转角，由伺服液压缸对横拉杆加载齿条力，进行 1.5×10^4 次工作循环试验(相当于整车30万km寿命)，一个工作循环包括表3内所有工况，每个工况中转角和齿条力按正弦波加载，见图15，试验结果满足4.3.21的要求。

表3 工作循环定义

工况	工况循环次数	转角(%最大转向角度)	齿条力(%最大齿条力)
1	2	80%	60%
2	1	80%	80%
3	1	100%	80%
4	1	100%	100%
5	2	100%	100%
6	1	100%	80%
7	1	100%	60%

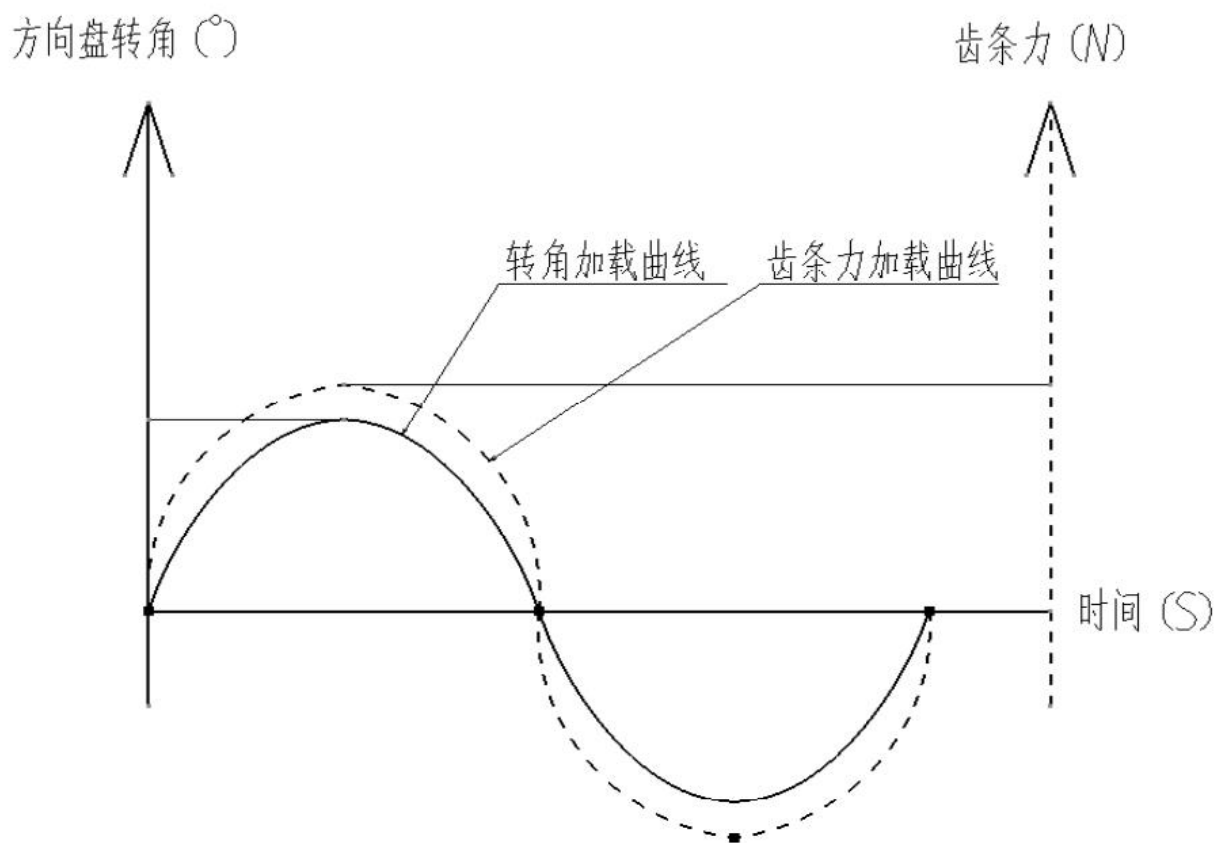


图15 扭转耐久工况图