

团 体 标 准

T/DLJX 0013—2025

小型商用车电动助力转向系统助力电流 特性设计

Design of assisting current characteristics for electrical power steering system on
small commercial vehicle

2025 – 09 – 12 发布

2025 – 09 – 22 实施

大连市机械行业协会 发 布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号说明 2

5 助力电流特性曲线与相关参数 4

 5.1 助力电流特性的曲线形式 4

 5.2 相关参数在助力电流特性曲线中的对应关系 4

6 助力电流特性设计方法 5

 6.1 转向器输出能力百分比特性 5

 6.2 死区扭矩特性设计 5

 6.3 额定转向手力特性设计 6

 6.4 额定助力电流特性设计 6

 6.5 饱和电流特性设计 7

 6.6 曲线型助力电流特性设计 7

7 多驾驶模式设计方法 8

 7.1 多驾驶模式 8

 7.2 多驾驶模式的额定转向手力特性设计 8

 7.3 多驾驶模式的死区扭矩特性设计 8

 7.4 多驾驶模式的助力电流特性设计 8

8 助力电流特性标定方法 9

 8.1 助力电流特性标定 9

 8.2 标定项目和标定参数 9

 8.3 助力电流特性标定方法 9

9 设计验证 10

10 设计表达方式 10

附录 A （资料性） 单一车速下的助力电流特性曲线结构形式 11

附录 B （资料性） 转向系统基本要求和 EPS 主要目标参数 12

附录 C （资料性） 助力电流特性设计时推荐的控制算法 15

附录 D （资料性） 多驾驶模式的相关参数和控制逻辑关系 18

附录 E （资料性） 助力电流特性标定流程示意图 19

附录 F （资料性） EPS 系统助力电流特性计算验证 20

附录 G （资料性） EPS 控制器助力电流特性的曲线示例图和主要性能参数示例表 24

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。

本文件是根据电动助力转向系统（简称 EPS）在小型商用车（包括：农用车、微卡、轻卡等商用车辆）上应用特点而制定。

本文件由大连创新零部件制造公司提出。

本文件由大连市机械行业协会归口。

本文件起草单位：大连创新零部件制造公司、北京理工大学电动车辆国家工程研究中心、北京奥特尼克科技有限公司、山东先锋摩托有限公司、山东时风（集团）有限责任公司汽车设计研究院。

本文件主要起草人：侯训波、刘莹苹、施国标、王帅、王强、朱训栋、王萃、高云超、张硕、洪阳、冷冶。

本文件为首次发布。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到 6.2、6.3、6.4、6.5、6.6、7.2、7.3、7.4、8.3 条，以及附录 C、附录 D、附录 E，与 ZL201710096662.7《一种汽车有刷电动转向助力电流特性的随动标定方法》和 ZL201911147783.5《用于商用车的具备多种驾驶模式选择的电动助力转向系统》相关的专利的使用。

本文件的发布机构对该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：大连创新零部件制造公司

地址：大连市开发区 48 号地 创新零部件工业园 116620

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

小型商用车电动助力转向系统助力电流特性设计

1 范围

本文件规定了与电动助力转向系统助力电流特性设计相关的术语和定义、曲线与相关参数、助力电流特性设计方法、多驾驶模式设计方法、助力电流特性标定方法、设计验证、设计表达方式等。

本文件适用于小型商用车应用的电动助力转向系统（以下简称EPS）总成生产单位和该总成用控制器（以下简称ECU）生产单位的设计开发过程，以及小型商用车生产单位针对车辆转向性能的方案确定和调校标定过程，其它如微型面包车、低端乘用车等生产单位可参照执行。

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 17675 汽车转向系 基本要求

GB/T 35360 汽车转向系统术语和定义

QC/T 1081 汽车电动助力转向装置

QC/T 1083 汽车电动助力转向装置用控制器

3 术语和定义

GB 17675、GB/T 35360、QC/T 1081和QC/T 1083中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小型商用车 small commercial vehicle

本文件的小型商用车专指农用车、微卡、轻卡等商用车辆。

3.2

转向手力 T steering control torque

驾驶员为使车辆转向而作用在方向盘上的力矩，其力矩数值均取正值，单位为（N·m）。

3.3

死区扭矩 T_1 steering control torque in stagnant zone

在方向盘转向中间位置（转角约 $\pm 15^\circ$ ）区域，当转向手力作用下EPS工作时，其ECU输出助力电流被限制为零，此时对应转向手力称为死区扭矩，单位为（N·m）。

3.4

额定转向手力 T_2 rated steering torque

车辆额定载重时,在各车速对应的额定转向负载条件下,使车辆转向并满足客户所期望的转向手力,单位为(N.m)。

3.5

额定助力电流 I_V rated assisting current

在额定转向手力下EPS工作时,ECU输出助力电流使EPS提供助力,恰好能克服对应车速下的额定转向负载,此时ECU所输出的助力电流称为额定助力电流,单位为(A)。

3.6

最大助力电流 I_{max} maximum assisting current

在转向手力作用下EPS工作时,ECU能输出最大的助力电流,单位为(A)。

3.7

饱和电流 I_x 或 I_{T3} saturation current

在转向手力作用下EPS工作时,不同车速下ECU输出助力电流,可设置不同限值电流,该限值电流称为饱和电流,单位为(A);当拐点扭矩 T_3 为变值时,饱和电流以 I_x 表示,当 T_3 为定值时以 I_{T3} 表示。

3.8

助力特性 assisting torque characteristic

EPS工作时,由ECU按预设规律来输出助力电流,控制EPS电机输出扭矩,再经蜗杆蜗轮等传动机构输出扭矩来提供助力,以协助驾驶员操纵车辆转向,同时要求该助力能随车辆运动速度和转向手力而适应性地变化,以满足车辆对转向性能要求,其预设规律称为助力特性。

3.9

助力电流特性 assisting current characteristic

在不同车速下,转向手力与ECU输出助力电流的关系称为助力电流特性,其规律将预设ECU中。

3.10

助力电流特性曲线 assisting current characteristic curve

以转向手力为横坐标和助力电流为纵坐标,绘制某单一车速下的助力电流特性曲线(其结构形式参见附录A),汇总多个典型车速下的曲线,以曲线族方式对EPS助力电流特性进行表达,通用表达式如下:

$$I = f(T, V) \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- I —助力电流(A);
- T —转向手力(N.m);
- V —车速(km/h)。

4 符号说明

本文件所采用与助力电流特性设计相关的参数符号见表1。

表1 与助力电流特性设计相关的参数符号表

类别	序号	参数名称	符号	单位	说明
与车速相关	1	视同原地转向的最高车速	V_l	km/h	当车速 $\leq V_l$ 时,其助力电流特性曲线与零车速的完全相同,通常 $V_l \leq 5\text{km/h}$ 。
	2	保持相同助力电流特性曲线的最高车速	V_6	km/h	当车速 $\geq V_6$ 时,其助力电流特性曲线保持一致。不同于QC/T 1081最高助力车速 $V_{\max}$, $V_{\max}$ 是指EPS提供助力时最高车速。
	3	饱和电流等同于最大助力电流时的最高车速	V_a	km/h	当车速 $\leq V_a$ 时,其助力电流特性曲线的饱和电流等于最大助力电流(但特性曲线并不一定相同),通常 $V_a=5\text{--}50\text{km/h}$ 。
	4	额定转向手力的特征车速b	V_b	km/h	当车速 $\leq V_b$ 时,保持了额定转向手力为 T_{2-b} 不变(前提条件: $V_b \geq V_l$)。
	5	额定转向手力的特征车速c	V_c	km/h	当车速 $\geq V_c$ 时,保持了额定转向手力为 T_{2-c} 不变(前提条件: $V_c \leq V_6$)。
与转向手力相关	6	死区扭矩的起点值	T_{l-1}	N.m	在 V_l 车速时的死区扭矩值(低车速时,期望能快速进入助力电流变化区,故 T_{l-1} 设定值较小)。
	7	死区扭矩的终点值	T_{l-6}	N.m	在 V_6 车速时的死区扭矩值(高车速时,期望能减缓进入助力电流变化区,故 T_{l-6} 设定值较大)。
	8	V_b 车速下的额定转向手力	T_{2-b}	N.m	当车速 $\leq V_b$ 时能满足客户要求的转向手力值(低车速时,期望用较小转向手力,实现转向轻便,故 T_{2-b} 设定值较小)。
	9	V_c 车速下的额定转向手力	T_{2-c}	N.m	当车速 $\geq V_c$ 时能满足客户要求的转向手力值(高车速时,期望用较大转向手力,实现转向稳重,故 T_{2-c} 设定值较大)。
	10	车速 $\geq V_a$ 时的拐点扭矩	T_3	N.m	车速 $\geq V_a$ 时的拐点扭矩可随车速变化,也可不随车速变化的定值,通常 $T_3 \geq T_2$;当 T_3 为定值时可直接参与助力电流曲线计算,其所对应饱和电流为 I_{T3} ;当 T_3 随车速变化时,需由饱和电流 $I_x=f(V)$ 参与助力电流曲线计算。
与助力电流相关	11	最大饱和电流	I_{xa}	A	当车速 $\leq V_a$ 时的饱和电流,体现了ECU最大助力电流,即 $I_{xa}=I_{\max}$ 。
	12	V_6 车速下饱和电流	I_{x6}	A	当车速 $\geq V_6$ 时的饱和电流为恒定值
	13	V_l 车速下额定助力电流	I_{Vl}	A	当车速 $\leq V_l$ 且在额定转向手力 T_2 时,满足客户规定输出要求时所需助力电流的设计目标值。
	14	V_6 车速下额定助力电流	I_{V6}	A	当车速 $\geq V_6$ 且在额定转向手力 T_2 时,满足客户规定输出要求时所需助力电流的设计目标值。
相关调校标定参数	15	死区随速增益系数	f		是与死区扭矩特性相关的系数。在 T_l 设计和标定过程中,通过调节 f 数值可改变死区扭矩特性曲线形态。
	16	手力随速增益系数	w		是与额定转向手力特性相关的系数。在 T_2 设计和标定过程中,通过调节 w 数值可改变额定转向手力特性曲线形态。
	17	助力随速衰减系数	s_2		是与额定助力电流特性相关的系数。在 I_v 设计和标定过程中,通过调节 s_2 数值可改变额定助力电流特性曲线形态。
	18	饱和电流衰减系数	g_2		是与饱和电流特性相关的系数。在 I_x 设计和标定过程中,通过调节 g_2 数值可改变饱和电流特性曲线形态。
	19	助力曲线增益系数	m		是与助力电流特性相关的系数。在 I 设计和标定过程中,通过调节 m 数值可改变助力电流特性族曲线形态。

5 助力电流特性曲线与相关参数

5.1 助力电流特性的曲线形式

助力电流特性曲线形式按线形分为三种，分别为线性（直线型）、折线型、曲线型（二次型），此三种曲线形式适用场景如下：

- 线性（直线型）：线性（直线型）的助力电流特性曲线通常应用于低端车型，其设计复杂程度较低，适用于初期 EPS 厂家，可较大幅度地缩减设计周期。
- 折线型：折线型的助力电流特性曲线通常也应用于低端车型，是对线性助力电流特性曲线的改进型。
- 曲线型（二次型）：曲线型的助力电流特性曲线通常应用于中高端车型，能与车辆固有转向特性较好地进行匹配，并能更好地通过调校标定来满足车辆转向性能要求。

注：随着低端车型对转向手感和路感要求进一步提高，加之EPS厂家开发出专用设计软件，使曲线型的设计复杂程度大幅降低，并使曲线型成为目前普遍采用的一种形式，故以下仅针对曲线型的助力电流特性开展设计。

5.2 相关参数在助力电流特性曲线中的对应关系

在助力电流特性曲线中，要体现出与车辆转向特性强相关的参数，如：死区扭矩 T_1 、额定转向手力 T_2 、拐点扭矩 T_3 、最大助力电流 I_{max} 、饱和电流 I_x 或 I_{T3} 、额定助力电流 I_v 等，同时还要给出在设计中需关注的典型车速点或转向手力点上的对应参数。根据车辆固有转向特性，死区扭矩 T_1 设置为可变状态，能获得较好中位转向性能，以下当 T_1 为可变状态下，仅对 T_2 和 T_3 均为定值时、 T_2 为定值和 T_3 为变值时和 T_2 为变值和 T_3 为定值时的三种情况，来描述助力电流特性曲线与相关参数的对应关系，分别如图1、图2、图3所示，其中 T_2 为变值和 T_3 为定值时推荐为优先采用，如图3所示。

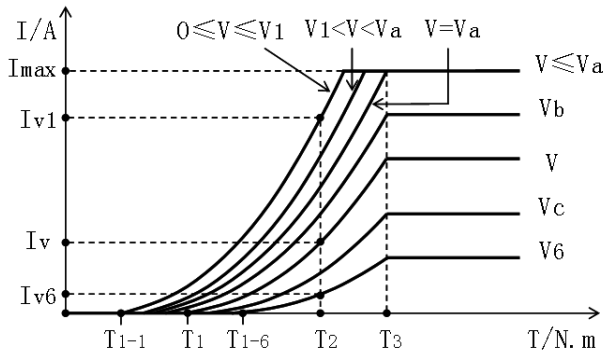


图1 T_2 和 T_3 均为定值时助力电流特性曲线与相关参数的对应关系示意图

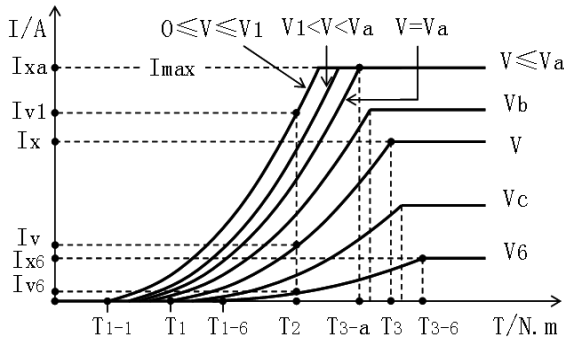


图2 T_2 为定值和 T_3 为变值时助力电流特性曲线与相关参数的对应关系示意图

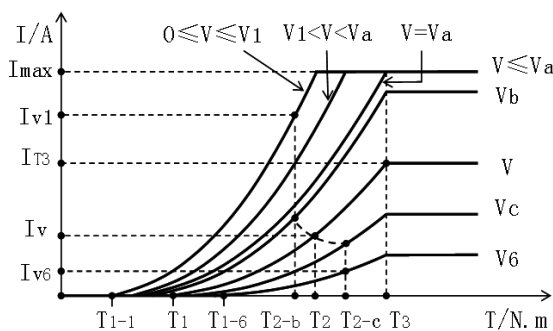


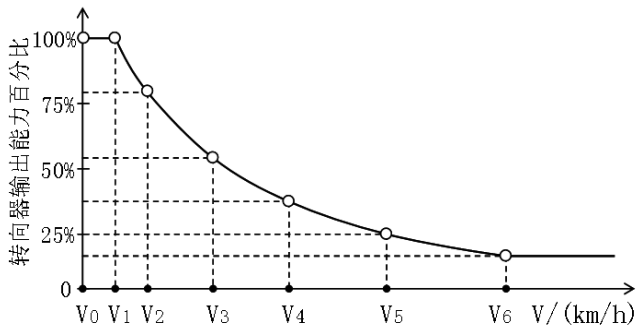
图3 T_2 为变值和 T_3 为定值时助力电流特性曲线与相关参数的对应关系示意图

6 助力电流特性设计方法

6.1 转向器输出能力百分比特性

参照附录B中表B.1所汇总的转向系统基本要求，拟合有限的典型数据点，绘制转向器输出能力百分比特性曲线，如图4所示。

注：转向器输出能力百分比特性曲线综合体现了循环球转向器输出扭矩或齿轮齿条转向器齿条力随车速变化的特性，它与所匹配EPS的输出扭矩特性规律是一致的，同时也可依此推导出额定助力电流特性设计目标。



标引序号说明：

V_0 、 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 —能代表转向特性基本要求的典型车速，至少应包括零车速、低车速、中车速、高车速。

图4 转向器输出能力百分比特性曲线示意图

6.2 死区扭矩特性设计

根据设计者经验，按图5所示预设二个特征点： V_1 车速下死区扭矩点（ V_1 ， T_{1-1} ）、 V_6 车速下死区扭矩点（ V_6 ， T_{1-6} ），并在二个特征点之间的曲线上，设置死区随速增益系数 f 进行调节，依此来获得符合车辆转向特性规律的死区扭矩特性曲线，其对应的控制算法可参照附录C执行。

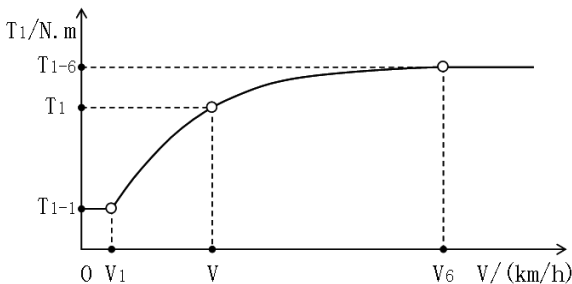


图5 死区扭矩与车速关系曲线

6.3 额定转向手力特性设计

根据设计者经验,按图6所示预设二个特征点: V_b 车速下额定转向手力点 (V_b, T_{2-b}) 和 V_c 车速下额定转向手力点 (V_c, T_{2-c}) ,并在二个特征点之间的曲线上,设置手力随速增益系数 w 进行调节,依此获得期望的额定转向手力特性曲线,该特性曲线是设计目标,其对应的控制算法可参照附录C执行。

当 V_b 和 V_c 车速下额定转向手力设置相同 $(T_{2-b}=T_{2-c})$ 时,手力随速增益系数 w 调节将不起作用,可使额定转向手力 T_2 设计为定值。

当助力电流特性最终设计完成后,所实现的额定转向手力至少应在理论上进行验证,其偏差不应超出 $\pm 10\%$ 设计目标值,且曲线应平滑,不应出现异常波动情况。

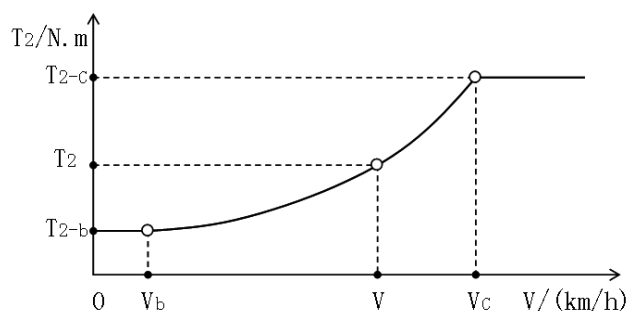


图6 额定转向手力设计目标与车速的关系曲线

6.4 额定助力电流特性设计

6.4.1 额定助力电流特性设计目标

参照附录B中表B.1所汇总的转向系统基本要求,所转化表B.2所示的EPS主要目标参数,依据其中EPS电机输出扭矩,按式(2)计算出额定助力电流特性设计目标值。

注:转向器输出能力百分比特性曲线是根据有限典型数据点拟合绘制的,且这些数据点被设计者提出时,并非都能绘制出如图4所示规范且平滑的数据曲线,加之EPS电机具体参数,依此所推导出额定助力电流特性设计目标,并非都能拟合出规范且平滑的设计目标曲线。因此,参照表B.2所列典型数据点推导出的设计目标点,在额定助力电流特性设计时,尽可能地逼近并兼顾这些设计目标点即可。

$$I_V^* = \frac{T_m}{K_t} + I_k \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中:

I_V^* —额定助力电流特性设计目标值(A);

T_m —EPS电机输出扭矩(N.m);

K_t —所选型的EPS电机转矩常数(N.m/A);

I_k —所选型的EPS电机空载电流(A),为常数。

6.4.2 额定助力电流特性设计

首先按条6.4.1计算出额定助力电流特性设计目标值,绘制到图7中作为设计目标。

根据设计者经验,按图7所示预设二个特征点: V_1 车速下的额定助力电流点 (V_1, I_{V1}) 、 V_6 车速下的额定助力电流点 (V_6, I_{V6}) ,并在二个特征点之间的曲线上,设置助力随速衰减系数 s_2 进行调节,使该曲线尽可能地逼近且兼顾各设计目标点,其对应的控制算法可参照附录C执行。

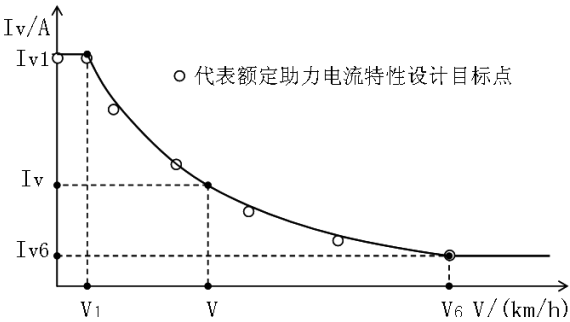


图7 额定助力电流与车速关系曲线

6.5 饱和电流特性设计

拐点扭矩 T_3 可设置为定值或变值二种情况，当 T_3 为变值时才需要计算饱和电流 I_x 值。
根据设计者经验，按图8所示预设二个特征点： V_a 车速下的饱和电流点（ V_a, I_{xa} ）、 V_6 车速下的饱和电流点（ V_6, I_{x6} ），并在二个特征点之间的曲线上，设置饱和电流衰减系数 g_2 进行调节，其对应的控制算法可参照附录C执行。

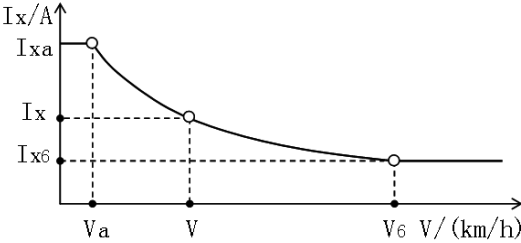


图8 饱和电流与车速关系曲线

6.6 曲线型助力电流特性设计

当拐点扭矩 T_3 为定值时， T_3 将被应用到助力电流特性设计中，当拐点扭矩 T_3 为变值时，条6.5获得饱和电流 I_x 将被应用到助力电流特性设计中，此二种情况分别决定设计中饱和电流的应用值；同时，根据以上条6.2、6.3、6.4已获得相关参数 T_1 、 T_2 、 I_v 都将被应用到助力电流特性设计中。
根据以上已获得的三个特征点： V 车速下的死区扭矩点（ V, T_1 ）、额定转向手力点（ V, T_2 ）、额定助力电流点（ V, I_v ），转化为以转向手力和助力电流相关的 V 车速下二个特征点：死区扭矩点（ $T_1, 0$ ）和额定转向手力点/额定助力电流点（ T_2, I_v ）；助力电流特性曲线中助力电流变化区段的曲线就是构建于这二个特征点之间，并设置助力曲线增益系数 m 进行调节，使变化区段曲线尽可能地符合人与车的转向操纵规律，其对应的控制算法可参照附录C执行。
参照附录B中所列 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 典型车速，使这些典型车速下额定助力电流特征点与助力电流特性族曲线对应关系如图9所示。

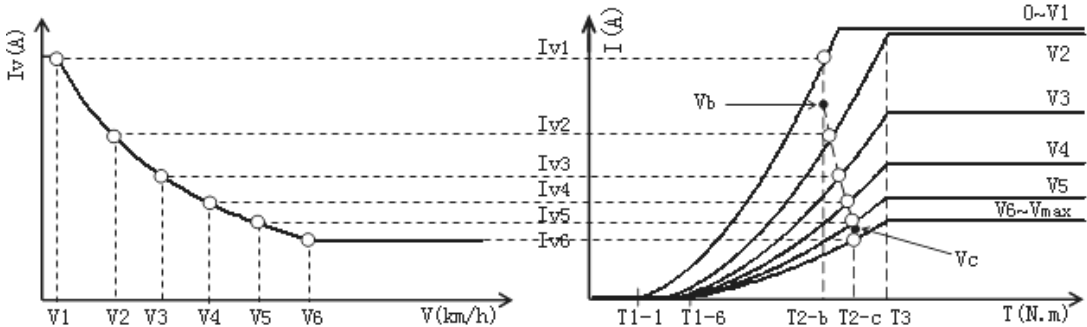


图9 额定助力电流特征点与助力电流特性族曲线对应关系

7 多驾驶模式设计方法

7.1 多驾驶模式

在本文件中，多驾驶模式是指在EPS系统的ECU部件中预设了已设计好的多种助力电流特性曲线和相关参数，可供选择应用。

本文件的多驾驶模式是以不同额定转向手力为目标的多种助力电流特性曲线，供新车型调校标定、批产车辆下线调校、路况及载重差异、驾驶者喜好等情况下，来选择适宜的转向操纵手力下的驾驶模式。

本文件的多驾驶模式将设为：Ⅰ级手力型（轻手力型）、Ⅱ级手力型（舒适型）、Ⅲ级手力型（标准型）、Ⅳ级手力型（沉稳型）、Ⅴ级手力型（重手力型）的五种模式，其控制流程参见附录D中图D.1。

7.2 多驾驶模式的额定转向手力特性设计

按条6.3要求设计，汇总其特性曲线如图10所示，相关参数参照附录D中表D.1推荐值执行。

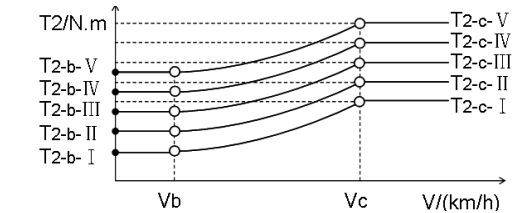


图10 多驾驶模式所对应额定转向手力特性曲线示意图

7.3 多驾驶模式的死区扭矩特性设计

按条6.2要求设计，汇总其特性曲线如图11所示，相关参数参照附录D中表D.1推荐值执行。

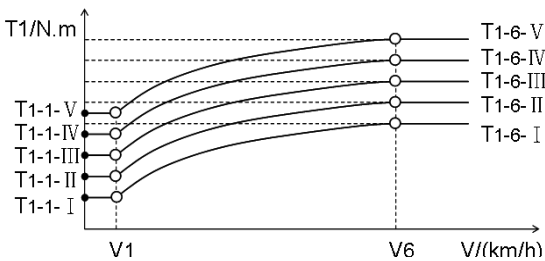


图11 多驾驶模式所对应死区扭矩特性曲线示意图

7.4 多驾驶模式的助力电流特性设计

在多驾驶模式的助力电流特性设计中，所采用的额定助力电流特性与按条6.4设计结果是一致的，所采用的拐点扭矩 T_3 作为定值，参照附录D中表D.1推荐值执行。

按条6.6要求设计，汇总多驾驶模式在某车速下的助力电流特性曲线如图12所示。

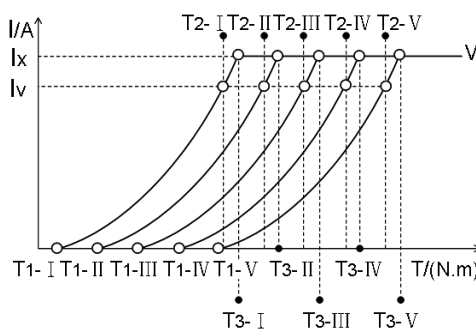


图12 多驾驶模式在某车速下的助力电流特性曲线示意图

8 助力电流特性标定方法

8.1 助力电流特性标定

助力电流特性标定是指在实车状态下,对助力电流特性相关参数进行调整,使ECU所控制的EPS助力特性满足实车转向性能要求,并在ECU程序中固化符合要求的助力电流特性的过程。

8.2 标定项目和标定参数

标定项目包括:死区扭矩特性标定、额定转向手力特性标定、额定助力电流特性标定、助力电流特性标定。标定参数是指在助力电流特性标定(包括四个标定项目)过程中,面向实车转向性能有影响的相关参数,对这些参数进行调整能改变助力电流特性,它们包括两类标定参数,分别为:设置参数和调校参数。

注:标定项目中前三项的标定结果,会影响第四项标定效果,最终会影响EPS整体助力电流特性标定效果。

8.3 助力电流特性标定方法

8.3.1 助力电流特性标定工具

通常采用上位机经CAN盒与ECU连接进行可视化标定,验证合格的相关参数由上位机通过CAN盒固化到ECU程序中。设置参数将在上位机可视化界面上,通过录入方式设定或调整;调校参数将在上位机可视化界面上,通过旋钮图标或数据滚动条等方式来连续调整,使相关特性曲线随动改变,并可实时观察相关曲线的调整结果。

8.3.2 死区扭矩特性的标定参数

相关设置参数包括: T_{1-1} 、 T_{1-6} 、 V_1 、 V_6 ,是经验参数,参照附录B和附录D中推荐值选取。

相关调校参数: f ,又称为死区随速增益系数,其调节范围: $f=0.001\sim 0.2$ 。

8.3.3 额定转向手力特性的标定参数

相关设置参数包括: T_{2-b} 、 T_{2-c} 、 V_b 、 V_c ,是经验参数,其中 T_{2-b} 、 T_{2-c} 参照附录D中表D.1推荐值选取, V_b 可在10~30km/h之间取初设值, V_c 在 $(V_6-20)\sim V_6$ 之间取初设值,通常取 $V_c=V_6$ 。

相关调校参数: w ,又称为手力随速增益系数,其调节范围: $w=-0.015\sim 0.02$ ($w\neq 0$)。

8.3.4 额定助力电流特性的标定参数

相关设置参数包括: I_{v1} 、 I_{v6} 、 V_1 、 V_6 ,是经验参数,其中 V_1 、 V_6 在条8.3.2已选取了推荐值,参照附录B中表B.2的EPS电机输出扭矩值, I_{v1} 、 I_{v6} 可按式(2)计算获得初始值。

相关调校参数: s_2 ,又称为助力随速衰减系数,其调节范围: $s_2=0\sim 0.5$ 。

8.3.5 助力电流特性的标定参数

相关设置参数包括: I_{max} 、 V_a 、 T_3 ,是经验参数,根据条8.3.4计算出 I_{v1} 初始值, I_{max} 取 $I_{v1}\sim (I_{v1}+10)$ 之间为初始值, T_3 参照附录D中表D.1推荐值选取, V_a 与 T_3 有强相关性,可通过改变车速和调节助力曲线增益系数 m ,观察助力电流特性曲线的拐点位置和曲线结构来确定 V_a 取值。

相关调校参数: m ,又称为助力曲线增益系数,其调节范围: $m=-100\sim 0$ 。

注:以上死区扭矩特性、额定转向手力特性、额定助力电流特性的初步参数设定或调整后,所获得 T_1 、 T_2 、 L_v 也将成为本标定过程的参数。

8.3.6 助力电流特性标定流程

根据经验预设相关参数，包括：设置参数和调校参数，它们与标定项目之间的关联性参见表2。
助力电流特性标定流程参照附录E中图E.1要求执行。

表2 标定项目与标定参数的关联表

标定项目	车速特征点					转向手力特征点					助力电流特征点			调校参数			
	V ₁	V _a	V ₆	V _b	V _c	T ₁₋₁	T ₁₋₆	T _{2-b}	T _{2-c}	T ₃	I _{max}	I _{v1}	I _{v6}	m	s ₂	f	w
死区扭矩特性标定	●		●			●	●									●	
额定转向手力特性标定				●	●			●	●								●
额定助力电流特性标定	●		●									●	●		●		
助力电流特性标定		●								●	●			●			

9 设计验证

助力电流特性的设计验证分为：计算或仿真验证、实验室验证、实车验证。其中，实验室验证应按EPS厂家相关技术规范执行，实车验证应按整车生产单位相关技术规范执行，针对设计完成后样机制做前的计算验证参考附录F执行。

10 设计表达方式

在EPS控制器性能参数及接口定义图或EPS产品外形图中，对设计完成后的助力电流特性，宜使用图和表的方式进行描述，作为检测及评价的依据。

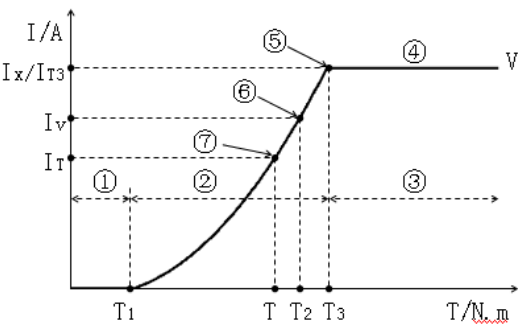
为能清晰地表达助力电流特性，应至少对零车速（驻车/原地）、低车速、中车速、高车速四种状态下的曲线和主要性能参数进行描述，其中主要性能参数还应包括：死区扭矩、拐点扭矩、饱和电流，以及至少给出3个检测用的规定输入扭矩（等同于转向手力）下，与车速组合对应的助力电流。

设计表达的具体方式，参照附录G中给出的有关助力电流特性的示例图G.1和示例表G.1执行。

附 录 A
(资料性)

单一车速下的助力电流特性曲线结构形式

在ECU中编程对助力电流特性实施控制时，所表现出的助力电流特性曲线是以原点对称分布的，在本文件中仅对转向手力和助力电流均为正值的右半区曲线进行描述；在单一车速V下，其助力电流特性曲线结构形式参见图A. 1；为便于计算，在图A. 1中，当转向手力T处于 $T_1 \leq T \leq T_3$ 时（处于变化区段②中），助力电流I可用代号 I_T 表示。



标引序号说明：

- ①—无助力电流区（与死区扭矩对应的区域）；
- ②—助力电流变化区；
- ③—助力电流饱和区；
- ④—饱和电流；
- ⑤—助力电流拐点；
- ⑥—额定点（可表示为额定转向手力点或额定助力电流点）；
- ⑦—当前助力电流点（当前转向手力T处于 $T_1 \leq T \leq T_3$ 时，助力电流I可用 I_T 表示）；
- T_3 —拐点扭矩。

图 A. 1 单一车速下的助力电流特性曲线结构形式

附 录 B
(资料性)

转向系统基本要求和 EPS 主要目标参数

B.1 转向系统基本要求

整车厂等EPS使用单位应参照表B.1尽可能地给出车辆对转向系统较完整的要求，至少应给出驻车转向、低速快转、中速快转和高速快转的四种状态下基本要求，依此由EPS生产单位再与使用单位探讨及协商，补全表B.1相关要求。获取转向系统基本要求的信息，有以下途径和方法：

- 根据车辆应用场合等条件来确定转向操作状态和车速，对小型商用车推荐为：驻车转向时车速 $V_0=0\text{km/h}$ 、极低车速快转时车速 $V_1=0\sim5\text{km/h}$ 、低速快转时车速 $V_2=5\sim15\text{km/h}$ 、中低速快转时车速 $V_3=15\sim30\text{km/h}$ 、中速快转时车速 $V_4=30\sim50\text{km/h}$ 、中高速快转时车速 $V_5=50\sim70\text{km/h}$ 、高速快转时车速 $V_6\geq70\text{km/h}$ ；
- 方向盘转角速度要求是根据车辆应用场合、对应车速等条件来确定，使车辆在某些场合下，能完成紧急避让等快速转向操作时所需的最小方向盘转角速度，对小型商用车推荐为：车速 V_0 、 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 所对应方向盘转角速度要求分别为 $\omega_0=\omega_1\geq300^\circ/\text{s}$ 、 $\omega_2\geq360^\circ/\text{s}$ 、 $\omega_3\geq400^\circ/\text{s}$ 、 $\omega_4\geq450^\circ/\text{s}$ 、 $\omega_5\geq500^\circ/\text{s}$ 、 $\omega_6\geq550^\circ/\text{s}$ ；
- 在驻车状态下，车辆转向负载最大，通常为兼顾各种路面及载荷，取相对较为中性的转向负载值，将其值定义为车辆在驻车状态下最大的额定转向负载，此时所对应循环球转向器输出扭矩称为最大额定输出扭矩，所对应齿轮齿条转向器齿条力称为最大额定齿条力；在不同车速下，转向器分别对应有不同的额定输出扭矩或额定齿条力，随着车速提高，转向负载会减小，所需转向器的额定输出扭矩或额定齿条力也随之降低；
- 实现转向操作的转向手力，在驻车状态下能表现出最大值，通常要求转向手力 $T\leq15\text{N}\cdot\text{m}$ ，在其它各车速下要求转向手力 $T\leq9\text{N}\cdot\text{m}$ ；
- 以不同车速下对应的额定输出扭矩或额定齿条力与驻车状态下最大额定输出扭矩或最大额定齿条力的比值，定义为转向器输出能力百分比；
- 当车速 $V>V_6$ 之后的方向盘转角速度、转向器输出扭矩或转向器齿条力、转向手力、转向器输出能力百分比，应与车速 $V=V_6$ 时有相同的要求。

表 B.1 转向系统基本要求表

转向操纵 状态	车速 符号	车速 km/h	方向盘 转角速度 $^\circ/\text{s}$	转向器输出扭矩 N.m 或转向器齿条力 N	转向手力 N.m	转向器输出 能力百分比
驻车转向	V_0					
极低速快转	V_1					
低速快转	V_2					
中低速快转	V_3					
中速快转	V_4					
中高速快转	V_5					
高速快转	V_6					

B.2 EPS主要目标参数

EPS生产单位应根据表B.1转向系统基本要求,按表B.2内容转化为EPS主要目标参数。获取EPS主要目标参数,有以下途径和方法:

——当与EPS匹配为循环球转向器时,按式(B.1)计算EPS输出扭矩;

$$T_c = \frac{M_r}{i_w \eta_w} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

T_c —EPS输出扭矩(N.m);

M_r —循环球转向器输出扭矩(N.m);

i_w —循环球转向器传动比;

η_w —循环球转向器传动效率,一般取 $\eta_w=0.8$ 。

——当与EPS匹配为齿轮齿条转向器时,按式(B.2)计算EPS输出扭矩;

$$T_c = \frac{F_R \times C_g}{2000\pi \times \eta_g} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

F_R —齿轮齿条转向器输出力(N);

C_g —齿轮齿条转向器线角传动比(mm/r);

η_g —齿轮齿条转向器传动效率,一般取 $\eta_g=0.9$ 。

——按式(B.3)计算EPS电机输出扭矩;

$$T_m = \frac{T_c + T_f - T}{i \times \eta} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

T_m —EPS电机输出扭矩(N.m);

T_f —EPS轴系输入端摩擦损失(N.m),一般取 $T_f=1N.m$;

i —EPS蜗杆蜗轮传动比;

η —EPS蜗杆蜗轮传动效率,一般取 $\eta=0.85$ 。

——按式(B.4)计算EPS电机输出转速;

$$n = \frac{i \times \omega}{6} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

n —EPS电机输出转速(rpm);

ω —方向盘转角速度($^{\circ}/s$)。

——按式(B.5)计算EPS电机输出功率;

$$P = \frac{T_m n}{9.55} \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

P —EPS电机输出功率(W)。

——额定转向手力设计目标值按本文件条6.3计算获取。

表 B.2 EPS 主要目标参数表

转向 操纵 状态	车速 符号	车速 km/h	方向盘 转角速度 °/s	转向器输出扭 矩 N.m 或转向 器齿条力 N	EPS 输出扭矩 N.m	EPS 电机输出 扭矩 N.m	EPS 电机输出 转速 rpm	EPS 电机输出 功率 w	额定转向 手力设计 目标 N.m
驻车转向	V ₀								
极低速快转	V ₁								
低速快转	V ₂								
中低速快转	V ₃								
中速快转	V ₄								
中高速快转	V ₅								
高速快转	V ₆								

附录 C

(资料性)

助力电流特性设计时推荐的控制算法

C.1 死区扭矩特性控制算法

如图5所示的死区扭矩与车速关系曲线，需控制算法进行表达，要体现出低速时死区扭矩较小，有利于助力电流迅速越过死区进入较高电流区域，使转向操作轻便，而在高速时死区扭矩较大，使高速助力电流升值减缓，增强路感，同时也避免直行期间由于高速路面不平及颠簸，使转向在死区与助力区间反复切替而产生方向盘振动，可使中位指向性更清晰。

本文件推荐的控制算法为：

$$T_1 = \begin{cases} T_{1-1} & V < V_1 \\ \frac{f_1}{1+f \times V} + f_2 & V_1 \leq V \leq V_6 \\ T_{1-6} & V_6 < V \end{cases} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

$$f_1 = \frac{(T_{1-6} - T_{1-1})(1 + f \times V_6)(1 + f \times V_1)}{f \times V_1 - f \times V_6};$$

$$f_2 = \frac{T_{1-6}(1 + f \times V_6) - T_{1-1}(1 + f \times V_1)}{f \times V_6 - f \times V_1}。$$

C.2 额定转向手力特性控制算法

如图6所示，额定转向手力设计目标与车速的关系曲线，应使EPS具备低速时额定转向手力较小，实现转向轻便，而随车速提高则额定转向手力增大，实现转向手感稳重。为简化额定转向手力设计复杂程度，也可兼顾低车速和高车速情况下，将额定转向手力 T_2 设计为定值。

本文件推荐的控制算法为：

$$T_2 = \begin{cases} T_{2-b} & V < V_b \\ \frac{w_1}{1+w \times (V - V_b)} + w_2 & V_b \leq V \leq V_c \\ T_{2-c} & V_c < V \end{cases} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

$$w_1 = \frac{(T_{2-c} - T_{2-b})(1 + w \times V_c - w \times V_b)}{w \times V_b - w \times V_c};$$

$$w_2 = \frac{T_{2-c}(1 + w \times V_c - w \times V_b) - T_{2-b}}{w \times V_c - w \times V_b}。$$

注：额定转向手力设计目标并不能与助力电流特性 $I = f(T, V)$ 设计完成后所实现的额定转向手力完全吻合，即使在理论上也不能完全吻合，主要因条6.4设计时，需选定具体EPS电机规格及参数（不同厂家EPS电机参数也有差异），来兼顾各典型车速下额定助力电流特性的设计目标，难以完全吻合，这就使所实现的额定转向手力与设计目标也难以完全吻合。

C.3 额定助力电流特性控制算法

如图7所示的额定助力电流与车速关系曲线，需符合图4所示转向器输出能力百分比特性曲线的规律，实现低速时额定助力电流较大（即转向器输出能力较大），高速时额定助力电流较小（即转向器输出能力较小），使额定助力电流随车速提高呈衰减趋势，能与不同车速下所对应的转向负载进行匹配。

本文件推荐的控制算法为：

$$I_V = \begin{cases} I_{V1} & V < V_1 \\ \frac{m_1}{s_1 + s_2 V} + m_2 & V_1 \leq V \leq V_6 \\ I_{V6} & V_6 < V \end{cases} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

$s_1 = 1$;

$$m_1 = \frac{(I_{V1} - I_{V6})(s_1 + s_2 V_1)(s_1 + s_2 V_6)}{s_2 V_6 - s_2 V_1};$$

$$m_2 = \frac{I_{V1}(s_1 + s_2 V_1) - I_{V6}(s_1 + s_2 V_6)}{s_2 V_1 - s_2 V_6}。$$

C.4 饱和电流特性控制算法

如图8所示，饱和电流与车速关系曲线，需体现出低速时饱和电流较大，有利于使EPS提供较大助力，在高速时饱和电流较小，使EPS提供较小助力。

本文件推荐的控制算法为：

$$I_x = \begin{cases} I_{xa} & V < V_a \\ \frac{b_1}{g_1 + g_2 V} + b_2 & V_a \leq V \leq V_6 \\ I_{x6} & V_6 < V \end{cases} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

$g_1 = 1$;

$$b_1 = \frac{(I_{xa} - I_{x6})(g_1 + g_2 V_a)(g_1 + g_2 V_6)}{g_2 V_6 - g_2 V_a};$$

$$b_2 = \frac{I_{xa}(g_1 + g_2 V_a) - I_{x6}(g_1 + g_2 V_6)}{g_2 V_a - g_2 V_6}。$$

C.5 曲线型助力电流特性控制算法

建立转向手力与助力电流相关联的曲线型助力电流特性曲线，要满足助力电流随转向手力增大而增大的要求，并且随转向手力增大，助力电流还能实现先慢后快地增大。

本文件推荐拐点扭矩 T_3 为定值时曲线型助力电流特性的控制算法为：

$$I = \begin{cases} 0 & T \leq T_1 \\ I_T & T > T_1 \text{ and } V < V_a \text{ and } I_T \leq I_{\max} \\ I_{\max} & T > T_1 \text{ and } V < V_a \text{ and } I_T > I_{\max} \\ I_T & T > T_1 \text{ and } V \geq V_a \text{ and } I_T \leq I_{T3} \\ I_{T3} & T > T_1 \text{ and } V \geq V_a \text{ and } I_T > I_{T3} \end{cases} \dots\dots\dots (\text{C. 5})$$

式中：

$$a = \frac{I_V - 2m - 2\sqrt{m^2 - mI_V}}{(T_2 - T_1)^2};$$

$$b = \frac{I_V}{T_2 - T_1} - (T_2 + T_1)a;$$

$$c = -aT_1^2 - bT_1;$$

$$I_T = aT^2 + bT + c;$$

$$I_{T3} = aT_3^2 + bT_3 + c。$$

本文件推荐拐点扭矩**T₃**为变值时曲线型助力电流特性的控制算法为：

$$I = \begin{cases} 0 & T \leq T_1 \\ I_T & T > T_1 \text{ and } I_T \leq I_x \\ I_x & T > T_1 \text{ and } I_T > I_x \end{cases} \dots\dots\dots (\text{C. 6})$$

式中：

$$a = \frac{I_V - 2m - 2\sqrt{m^2 - mI_V}}{(T_2 - T_1)^2};$$

$$b = \frac{I_V}{T_2 - T_1} - (T_2 + T_1)a;$$

$$c = -aT_1^2 - bT_1;$$

$$I_T = aT^2 + bT + c。$$

附 录 D
(资料性)

多驾驶模式的相关参数和控制逻辑关系

多驾驶模式是对额定转向手力 T_2 和死区扭矩 T_1 进行适当调整后，所对应的多种助力电流特性曲线。针对EPS在小型商用车上应用，通常在标准型转向手力基础上变化15~25%时，驾驶员即可体验出不同转向手感，相关参数可参照表D.1中推荐值（但不局限于此表中推荐值）执行。

在ECU中编程实现多驾驶模式功能的控制逻辑关系框图参见图D.1。

表 D.1 多驾驶模式相关参数值推荐表

驾驶模式	额定转向手力 $T_2/\text{N}\cdot\text{m}$		死区扭矩 $T_1/\text{N}\cdot\text{m}$		定值拐点扭矩 $T_3/\text{N}\cdot\text{m}$	转向手力 $T/\text{N}\cdot\text{m}$ (区间)	
	T_{2-b}	T_{2-c}	T_{1-1}	T_{1-6}	T_3	中位	大角度
I 级手力型（轻手力型）	3.5	4.0	0.7	3.0	4.5	3.0~3.5	3.5~4.0
II 级手力型（舒适型）	4.0	4.5	0.8	3.2	5.0	3.5~4.0	4.0~4.5
III 级手力型（标准型）	4.5	5.0	1.0	3.5	5.5	4.0~4.5	4.5~5.0
IV 级手力型（沉稳型）	5.0	5.5	1.0	3.5	6.0	4.5~5.0	5.0~5.5
V 级手力型（重手力型）	5.5	6.0	1.2	3.8	6.5	5.0~5.5	5.5~6.0

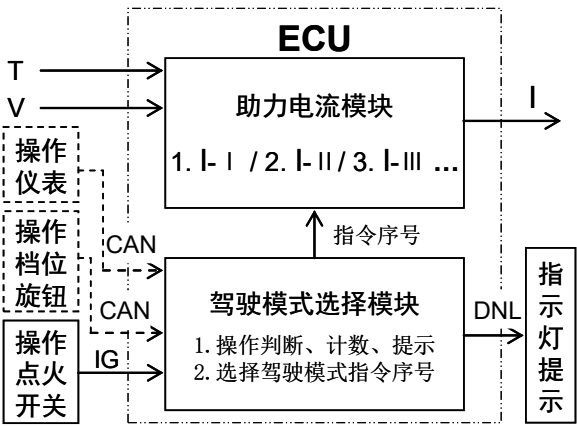


图 D.1 驾驶模式选择的控制逻辑关系示意框图

附 录 E
(资料性)

助力电流特性标定流程示意图

选定一种标准型驾驶模式，在实车状态下对其助力电流特性参照图E. 1流程进行标定，即可完成单一驾驶模式的标定。若需多驾驶模式时，在已标定完成的标准型驾驶模式基础上，参照附录D中表D. 1适当调整相关参数并重新标定，每种驾驶模式的助力电流特性仍参照图E. 1流程进行标定。

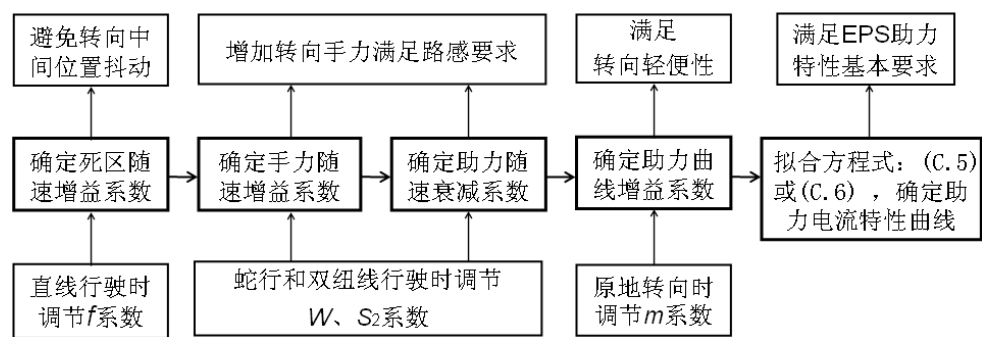


图 E. 1 助力电流特性标定流程示意图

附录 F

(资料性)

EPS 系统助力电流特性计算验证

F.1 计算验证基本要求

计算验证是在设计完成后样机制做前,针对所实现的额定转向手力和方向盘转角速度而开展的理论上验证,基本要求应按附录B表B.2中已获取的目标参数执行。其中,所实现的额定转向手力与设计目标值的偏差,不应超出±10% (见6.3要求),所实现的方向盘转角速度应不小于设计目标值。

F.2 静态额定转向手力计算验证方法

静态额定转向手力是指方向盘处于极低转角速度情况下,仅需满足整车厂所提出转向器输出扭矩(或转向器齿条力)基本要求,在设计上所能实现的转向手力。

附录B表B.2中整车厂所提出转向器输出扭矩(或转向器齿条力)和转化后EPS输出扭矩,它们的设计目标值是等效的。将式(2)中额定助力电流特性设计目标值 I_v^* 用助力电流设计值 I 替换,再结合附录B中式(B.3),可得EPS输出扭矩 T_c 与转向手力 T 和助力电流 I 三个参变量关系式如下:

$$T_c = T - T_f + K_t(I - I_k) \times i \times \eta \quad \text{..... (F.1)}$$

当助力电流特性设计完成后,由附录C中式(C.5)或式(C.6)可知,在已知车速 V (见表B.2中所列典型车速)情况下,每当给定转向手力 T 值就存在助力电流 I 值与其对应,则可形成 T 与 I 对应数组,将其代入式(F.1)中可得EPS输出扭矩 T_c 值,再与附录B表B.2中已知目标参数值进行对比,依此重复上述过程,直至搜索到较精确的转向手力 T 值,使EPS输出扭矩 T_c 值逼近目标参数值,此时 T 值即为静态额定转向手力值。在工程上,使逼近后的 T_c 值误差小于0.001N.m即可。

上述循环搜索过程可由多种软件程序来实现,本文件推荐一种Excel环境下,利用VBA编程来逐步缩小转向手力 T 赋值区间,可搜索到满足工程精度的静态额定转向手力值,其简要编程代码如下:

```

MB_Tc = 常数值 (在已知车速 V 情况下, MB_Tc=EPS 输出扭矩目标参数值)
Tf = 常数值 (EPS 轴系输入端摩擦损失)
Kt = 常数值 (所选型 EPS 电机转矩常数)
Ik = 常数值 (所选型 EPS 电机空载电流)
i = 常数值 (EPS 蜗杆蜗轮传动比)
XL_eta = 常数值 (EPS 蜗杆蜗轮传动效率)
Err = 1000000 (初设 EPS 输出扭矩与设计目标的差值)
For Tj = 1 To 100 Step 1 (在 T=1~100N.m 内以 1N.m 间隔搜索, 找到 Tc 最接近目标值时的 T 值)
  If Err <= 0.001 Then
  Else
    T = Tj
    Excel 计算单元格 T = Tj
    I = Excel 计算单元格 I (在已知车速 V 情况下, 将 T 代入式(C.5)或(C.6)获取助力电流 I 值)
    Tc = T - Tf + Kt * (I - Ik) * i * XL_eta (与式(F.1)相同)
    If ABS (Tc - MB_Tc) <= Err Then
      Ts = T
      Tcc = Tc
    
```

```

    Err = ABS ( Tc - MB_Tc )
  End If
End If
Next
For j = 1 To 10 Step 1  （用循环方法渐进式缩小搜索间隔，直至找到 Tc 满足误差要求时的 T 值）
  If Err <= 0.001 Then
  Else
    k = 1 / (10 ^ j )
    For Tj = Ts - 9 * k To Ts + 9 * k Step k
      T = Tj
      Excel 计算单元格 T = Tj
      I = Excel 计算单元格 I （在已知车速 V 情况下，将 T 代入式(C.5)或(C.6)获助力电流 I 值）
      Tc = T - Tf + Kt * ( I - Ik ) * i * XL_eta （与式(F. 1)相同）
      If ABS ( Tc - MB_Tc ) <= Err Then
        Ts = T
        Tcc = Tc
        Err = ABS ( Tc - MB_Tc )
      End If
    Next
  End If
Next
T = Ts
Tc = Tcc
Err = Tc - MB_Tc

```

F.3 方向盘转角速度计算验证方法

当提供给ECU电压为车辆标称电压（12V或24V）时，ECU向EPS电机加载电压最大值就是该标称电压。在EPS电机反电动势作用下，EPS电机转速会受到该标称电压限制，就决定了方向盘转角速度也会受到限制。EPS电机的电压平衡方程如下：

$$U = RI + K_e \omega_m \dots\dots\dots (F.2)$$

式中：

U —ECU向EPS电机加载电压（V）；

R —所选型EPS电机电枢电阻（ Ω ）；

K_e —所选型EPS电机反电动势常数（V/（°/s））；

ω_m —EPS电机转速（°/s）。

由式(F.2)转化可得方向盘转角速度关系式如下：

$$\omega = \frac{U - RI}{i \times K_e} \dots\dots\dots (F.3)$$

式中：

ω —方向盘转角速度（°/s）；

i —EPS蜗杆蜗轮传动比。

方向盘转角速度验证是指在满足整车厂提出转向器输出扭矩(或转向器齿条力)基本要求的前提下,所能实现的最高方向盘转角速度。

在已知车速V(见表B.2中所列典型车速)情况下,当条F.2静态额定转向手力验证过程中,所实现的转向手力T代入式(C.5)或式(C.6)可得助力电流I值,再将I值代入式(F.3)中,并将式中U设定为标称电压(即 $U=U_{\max}$),则可得最高方向盘转角速度 $\omega_{\max}$ 。

F.4 动态额定转向手力计算验证方法

动态额定转向手力是指同时满足整车厂所提出转向器输出扭矩(或转向器齿条力)和方向盘转角速度的条件下,在设计上所能实现的转向手力。

在已知车速V(见表B.2中所列典型车速)情况下,当条F.3方向盘转角速度验证过程中,凡最高方向盘转角速度 $\omega_{\max}$ 小于附录B表B.2中已获取的设计目标值,都需要进行动态额定转向手力验证。此时EPS工作机理是:降低助力电流来减小EPS电机电枢所占用电压,以便增大反电动势容压空间来提高方向盘转角速度,而降低了助力电流会使EPS输出扭矩也随之降低,需要提高转向手力来补充。此时转向手力T与助力电流I已不符合式(C.5)或式(C.7)的助力电流特性设计规律,而关系式(F.3)仍然成立。

由式(F.3)可得关系式(F.4)。

$$I = (U - i\omega K_e) / R \dots\dots\dots (F.4)$$

式中:

U —取ECU最大加载电压 $U_{\max}$ (V);

ω —取附录B表B.2中整车厂所提出的方向盘转角速度 $\omega^*(^\circ/s)$ 。

将式(F.1)和式(F.4)联立,可得动态转向手力,其关系式如下:

$$T = T_c + T_f - K_t \left[(U_{\max} - i\omega^* K_e) / R - I_k \right] \times i \times \eta \dots\dots\dots (F.5)$$

式中:

T_c —取附录B表B.2中目标参数:EPS输出扭矩(N.m)。

F.5 全车速范围的计算验证

以上条F.2、F.3、F.4的计算验证是基于附录B表B.2中已获取的目标参数作为评价依据,仅能针对所提供典型车速下相关指标来开展。若针对任意车速下开展计算验证,需按附录B中表B.2所提供典型车速下的有限数据点,拟合出能代表全车速范围内的方向盘转角速度和EPS输出扭矩的目标参数值。要求在典型车速下,对比拟合方程所计算结果和已知数据的误差不超过5%,这样就可以在任意车速下开展计算验证。图F.1和图F.2是针对某车型拟合方程所绘制的示例图,供参考。

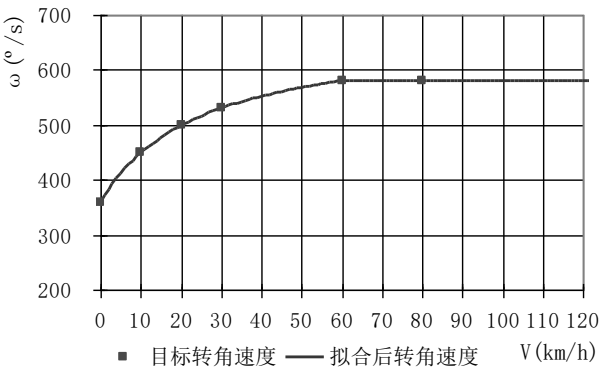


图 F.1 某车型的拟合后方向盘转角速度目标值曲线示例图

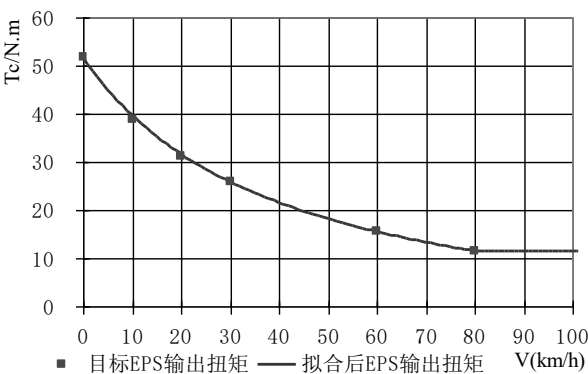


图 F.2 某车型的拟合后 EPS 输出扭矩目标值曲线示例图

F.6 计算验证综合评价数据

即使车辆在规定载重及路面上以相同速度行驶，其转向负载仍随方向盘转角位置的变化而变化，即：方向盘转角越大则转向负载越大，方向盘转角零位（转向中间位置）时转向负载最小。实车转向操纵时，快打转向通常在小转角位置上（接近转向中间位置上）发生，而极少在大转角位置上发生。因此，附录 B 表 B.1 所列转向系统基本要求，是基于转向器输出扭矩（或转向器齿条力）和方向盘转角速度都处于极限要求情况下提出的，而同时发生该情况的概率极低。

若以上 F.2、F.3、F.4 计算验证出现局部不合格现象，EPS 生产单位应与整车厂协商，综合考虑不合格出现时的车速和方向盘转角位置等条件，以及相关零部件选型及制造成本等因素，并结合实车固有条件和类似车型设计经验，进一步给出转向器输出扭矩（或转向器齿条力）随方向盘转角位置的变化率，以及方向盘转角速度随转角位置的变化率，依此重新计算验证。最终验证评价须由实车转向手感的主观评价来决定，而在计算验证阶段，至少应提供全车速范围内转向手力与车速关系的相关验证数据图或表，包括：零转角位置上和规定大转角位置上的转向手力，以便开展综合评价。以下示例图 F.3 和 F.4 供参考。

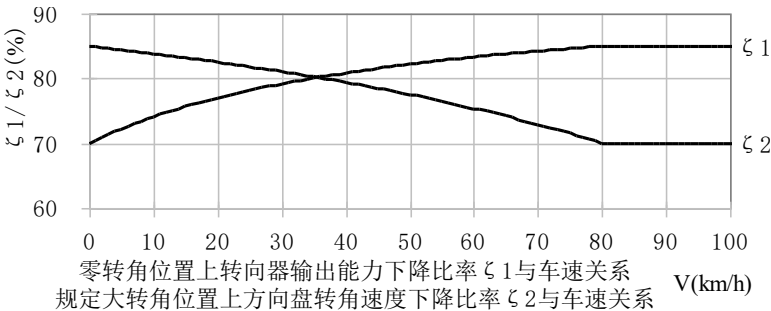


图 F.3 转角位置影响的转向器输出能力下降率和方向盘转角速度下降率与车速关系曲线示例图

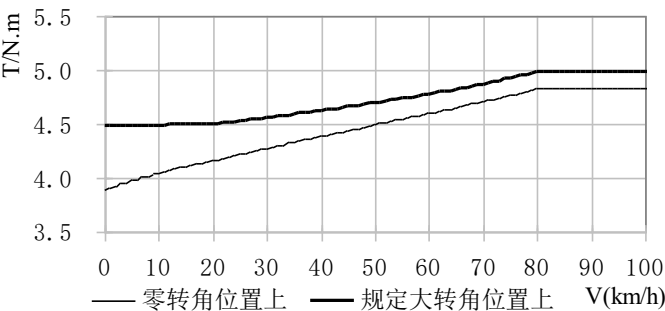


图 F.4 综合各因素后的某车型 EPS 所能实现的转向手力与车速关系曲线示例图

附 录 G
(资料性)

EPS 控制器助力电流特性的曲线示例图和主要性能参数示例表

为能清晰地表达助力电流特性，应至少对零车速（驻车/原地）、低车速、中车速、高车速四种状态下的曲线和主要性能参数进行描述，其中主要性能参数还应包括：死区扭矩、拐点扭矩、饱和电流，以及至少给出3个检测用的规定输入扭矩（等同于转向手力）下，与车速组合对应的助力电流。其主要性能参数的示例，参见表G. 1。

示例图G. 1中的独立轴PWM-T1（%）是EPS传感器信号轴，它与检测用的输入扭矩有对应关系，也是设计助力电流特性时，要在ECU中编程与转向手力对应的依据。

为使示例图与示例表中数据和图形相互对应，并与EPS传感器信号轴也能对应，图形和数据采取了与特性设计中不同的要求，如：在特性设计中T和I均取正值，且仅绘制右半区曲线图，而在附录G中则采用T取正负值，I仍取正值方式，曲线则以纵轴对称方式绘制两个半区的图形。

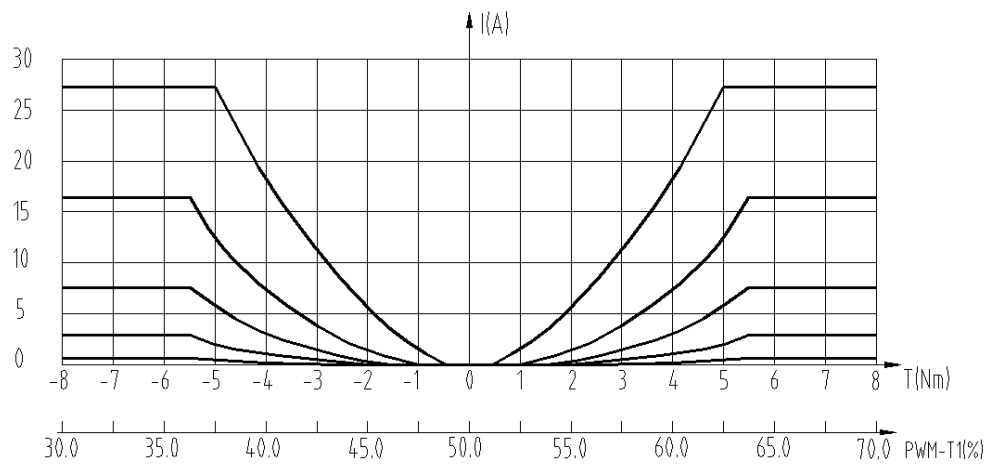


图 G. 1 EPS 控制器助力电流特性曲线示例图

表 G. 1 EPS 控制器助力电流特性的主要性能参数示例表

车速 V (km/h)	死区扭矩 T ₁ (N.m)	拐点扭矩 T ₃ (N.m)	规定输入扭矩下的助力电流 I (A)			饱和电流 I _{T3} (A)
			± 3.0N.m	± 4.0N.m	± 5.0N.m	
0	0.50	5.0	11.5	18.0	26.5	26.5
20	1.00	5.5	4.0	7.5	12.5	16.0
40	1.50	5.5	2.0	3.0	6.0	7.5
60	2.00	5.5	0.5	1.5	2.2	3.0
≥80	2.50	5.5	0.0	0.1	0.2	0.5