

团 体 标 准

T/DLJX 0013—2025

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

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2025.06.09）

2025 – xx – xx 发布

2025 – xx – xx 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 符号和缩略语 3

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 死区扭矩设计及其控制算法 5

 6.3 额定转向手力设计目标及其控制算法 6

 6.4 额定助力电流特性设计及其控制算法 7

 6.5 饱和电流设计及其控制算法 8

 6.6 助力电流特性设计及其控制算法 9

7 多驾驶模式设计方法 10

 7.1 多驾驶模式 10

 7.2 多驾驶模式的额定转向手力特性设计 10

 7.3 多驾驶模式的死区扭矩特性设计 11

 7.4 多驾驶模式的助力电流特性设计 11

8 助力电流特性标定方法 11

 8.1 助力电流特性标定 11

 8.2 标定项目和标定参数 11

 8.3 助力电流特性标定方法 12

9 设计表达方式 12

附录 A （资料性） 转向系统基本要求和 EPS 主要目标参数 14

附录 B （资料性） 多驾驶模式的相关参数和控制逻辑关系 17

附录 C （资料性） 助力电流特性标定流程示意图 18

附录 D （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 19

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。

本文件根据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》和QC/T 1083《汽车电动助力转向装置用控制器》的内容要求，针对小型商用车应用的电动助力转向系统助力电流特性设计而起草。

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、王翠、高云超、张硕、洪阳、冷治。

本文件为首次发布。

引 言

为了在小型商用车应用的电动助力转向系统助力电流特性设计和编制相关技术文件的过程中,尽可能地使所表达的技术信息正确、完整、统一,推荐了相关术语及定义、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、设计表达方式等,使研发人员理解设计方法,了解特性曲线形式,明确其控制算法,从而可通过编程或转化成数值矩阵的方式,来实现所要求特性曲线形式的助力控制功能。

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 B、附录 C,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。

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及定义、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、设计表达方式等。

本文件适用于小型商用车应用的有刷电动助力转向系统（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，以及整车厂等使用单位针对车型转向性能的方案确定和调校标定过程。

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

GGB 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

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转矩，单位为（N·m）。

注1：参照 GB 17675 中所定义的转向操纵力，为方便本文件技术内容表述，采用转矩物理量来定义转向手力。

注2：转向手力是有 2 个方向的转矩矢量，并与 ECU 输出正或负的助力电流有对应关系，在本文件中，为便于计算相关特性参数，将其规定为仅有大小的标量，且均为正值，同时所对应的助力电流也均为正值。

3.2

死区扭矩 T_1 steering control torque in stagnant zone

在方向盘的转向中间位置区域，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）

注：在方向盘转向中间位置区域（转角约±30°）的转向负载通常较小，且随着车速提高，该区域的转向负载还会进一步减小，当EPS工作时，为避免在其助力作用下，而失去转向手感，需在该区域设置ECU输出助力电流为零。

3.3

额定转向手力 T_2 rated

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)。

注1:在不同车速下的额定转向负载是不同的,通常车速越高转向负载越小,其中原地转向负载最大。

注2:额定转向手力与各车速下的额定转向负载有对应关系,它体现了转向手力的设计目标。

3.4

额定助力电流 I_r roated 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)。

注:在不同车速下的额定转向负载是不同的,需要不同的额定助力电流与之对应,才能使EPS提供助力与其匹配,因此需要额定助力电流随车速变化而变化,它与额定转向手力又是相互对应的,体现了助力电流的设计目标。

3.5

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)。

注:车速越低时转向负载越大,通常最大助力电流设置在车速较低的情况下,至少在车速为零的原地转向时,需设置最大助力电流,最大助力电流设定值应考虑EPS提供的助力,能避免造成转向机构损坏。

3.6

饱和电流 I_s saturation current

在转向手力作用下EPS工作时,不同车速下ECU输出的助力电流,可设置不同的限值电流,该限值电流称为饱和电流,单位为(A)。

注1:在相同车速下,随着转向手力增大,ECU输出的助力电流随之增大,当达到该车速下的饱和电流之后,ECU输出的助力电流不再随转向手力增大而增大,将保持在该车速下的饱和电流值上。

注2:通常饱和电流是随车速提高而减小,零车速下的饱和电流是最大助力电流。

3.7

助力特性 assisting torque characteristic

EPS工作时,由ECU按预设规律输出助力电流,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。

注:通常EPS助力特性表现出在低速时助力较大,实现转向轻便,在高速时助力较小,实现较强路感。

3.8

助力电流特性 assisting current characteristic

为保证助力特性要求,当EPS工作时,ECU输出的助力电流也是随车辆运动速度和转向手力而变化的,其预设规律称为助力电流特性。

注:助力电流特性与助力特性具有一致性的规律,通常以助力电流特性来间接表达助力特性。

3.9

助力电流特性曲线 assisting current characteristic curve

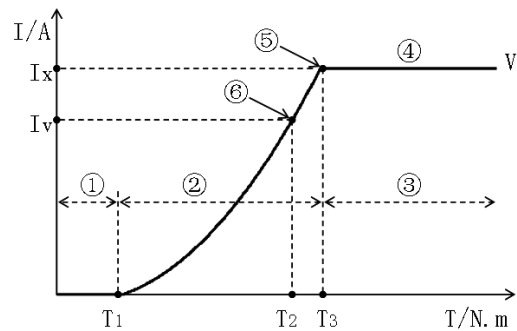
以转向手力为横坐标和助力电流为纵坐标,可绘制某单一车速下的助力电流特性曲线,汇总多个典型车速下的曲线,以曲线族的方式来对EPS助力电流特性进行表达。其通用表达式为:

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

式中：

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

注：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如图1所示。



标引序号说明：

- ①—无助力电流区；
- 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）；
- T_3 —拐点扭矩。

图1 单一车速 V 时助力电流特性曲线结构形式示意图

4 符号和缩略语

表1所列符号和缩略语适用于本文件。

表1 与助力电流特性设计相关的参数表

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	V1	km/h	当车速 $\leq V1$ 时，其助力电流特性曲线与零车速的完全相同，通常 $V1 \leq 5\text{km/h}$ 。
	2	保持相同助力电流特性曲线的最高车速	V6	km/h	当车速 $\geq V6$ 时，其助力电流特性曲线保持一致。
	3	饱和电流等同于最大助力电流时的最高车速	Va	km/h	当车速 $\leq Va$ 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 $Va = 5\text{-}50\text{km/h}$ 。
	4	额定转向手力的特征车速 b	Vb	km/h	当车速 $\leq Vb$ 时，保持了额定转向手力为 $T2\text{-}b$ 不变（前提条件： $Vb \geq V1$ ）。
	5	额定转向手力的特征车速 c	Vc	km/h	当车速 $\geq Vc$ 时，保持了额定转向手力为 $T2\text{-}c$ 不变（前提条件： $Vc \leq V6$ ）。
与	6	死区扭矩的起点值	T1-1	N.m	在 $V1$ 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 $T1\text{-}1$ 设定值较小）。

转向 手力 相关	7	死区扭矩的终点值	T1-6	N.m	在 V6 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 T1-6 设定值较大）。
	8	Vb 车速下的额定转向手力	T2-b	N.m	当车速 $\leq Vb$ 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 T2-b 设定值较小）。
	9	Vc 车速下的额定转向手力	T2-c	N.m	当车速 $\geq Vc$ 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 T2-c 设定值较大）。
	10	车速 $\geq Va$ 时的拐点扭矩	T3	N.m	车速 $\geq Va$ 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 $T3 \geq T2$ ；当 T3 为定值时可直接参与助力电流曲线计算，当 T3 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	Ixa	A	当车速 $\leq Va$ 时的饱和电流，体现了 ECU 最大助力电流，即 $Ixa=Imax$ 。
	12	V6 车速下饱和电流	Ix6	A	当车速 $\geq V6$ 时的饱和电流为恒定值
	13	V1 车速下额定助力电流	Iv1	A	当车速 $\leq V1$ 且在额定转向手力 T2 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	V6 车速下额定助力电流	Iv6	A	当车速 $\geq V6$ 且在额定转向手力 T2 时，满足客户规定输出要求时所需助力电流的设计目标值。

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

助力电流特性的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）。曲线型的助力电流特性曲线能与车辆固有转向特性较好地进行匹配，是目前普遍采用的曲线形式，它能更好地通过调校标定来满足车辆转向性能要求，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T1、额定转向手力T2、拐点扭矩T3、最大助力电流Imax、饱和电流Ix、额定助力电流Iv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T1设置为可变状态，能获得较好的中位转向性能，以下当T1为可变状态下，仅对T2和T3均为定值时、T2为定值和T3为变值时和T2为变值和T3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2、图3、图4所示，其中T2为变值和T3为定值时推荐为优先采用，如图4所示。

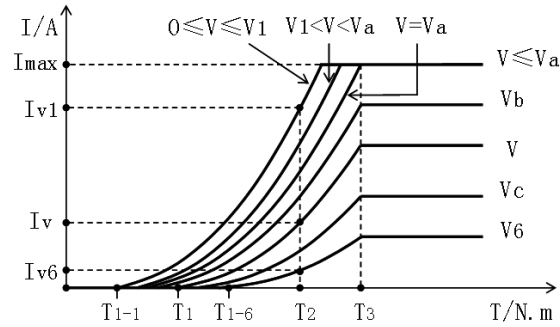


图2 T2 和 T3 均为定值时助力电流特性曲线与相关参数的对应关系示意图

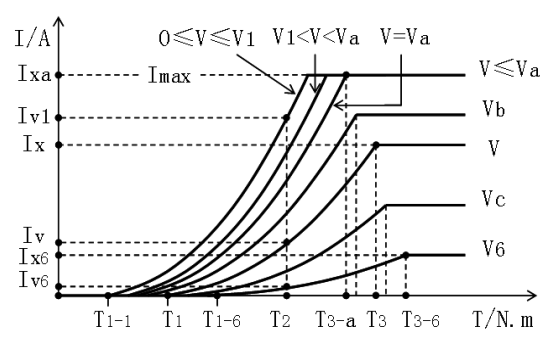


图3 T2 为定值和 T3 为变值时助力电流特性曲线与相关参数的对应关系示意图

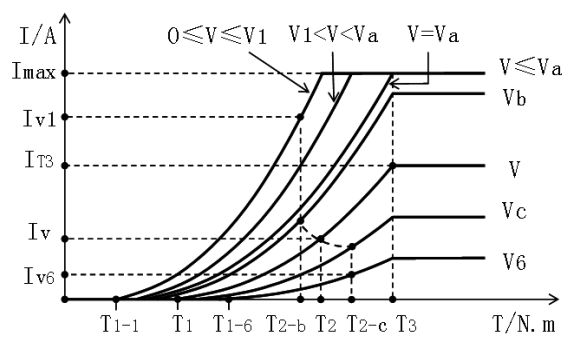


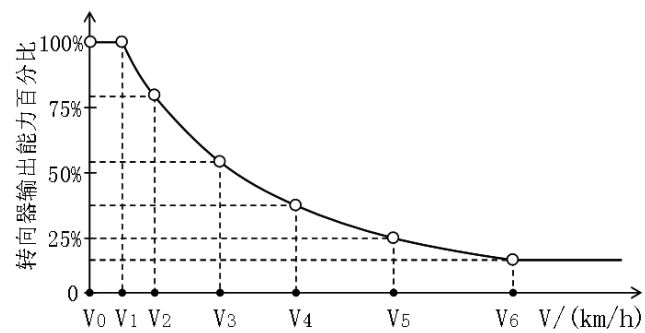
图4 T2 为变值和 T3 为定值时助力电流特性曲线与相关参数的对应关系示意图

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

根据附录A中表A.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5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5 转向器输出能力百分比特性曲线示意图

6.2 死区扭矩设计及其控制算法

6.2.1 死区扭矩特性

如图6所示，死区扭矩与车速的关系曲线，需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。

该曲线应根据设计者经验，预设二个特征点：V1车速下的死区扭矩点（V1，T1-1）、V6车速下的死区扭矩点（V6，T1-6），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。

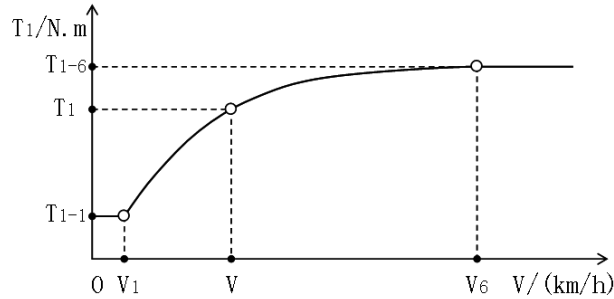


图6 死区扭矩与车速的关系曲线

6.2.2 死区扭矩特性的控制算法

$$T_1 = \begin{cases} T_{1-1} & V < V_1 \\ \frac{f_1}{1+f \times V} + f_2 & V_1 \leq V \leq V_6 \\ T_{1-6} & V_6 < V \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

f —死区随速增益系数，它是调校标定参数，可通过调节 f 来改变曲线形式；

$$f_1 = \frac{(T_{1-6} - T_{1-1})(1 + f \times V_6)(1 + f \times V_1)}{f \times V_1 - f \times V_6}, \quad f_2 = \frac{T_{1-6}(1 + f \times V_6) - T_{1-1}(1 + f \times V_1)}{f \times V_6 - f \times V_1}。$$

6.3 额定转向手力设计目标及其控制算法

6.3.1 额定转向手力设计目标

如图7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。当车辆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T2设计为定值。

该曲线应根据设计者经验，预设二个特征点：Vb车速下额定转向手力点（Vb，T2-b）和Vc车速下额定转向手力点（Vc，T2-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设计目标曲线。当Vb和Vc车速下额定转向手力设置相同（T2-b= T2-c）时，手力随速增益系数w调节也不起作用，可使额定转向手力T2设计为定值。

注：额定转向手力设计目标并不能与助力电流特性 $I = f(T, V)$ 最终设计完成后的额定转向手力实现完全吻合，既使在理论上也不能完全吻合，主要因额定助力电流特性设计时，兼顾了各典型车速下的设计目标而逼近完成的，难以实现完全吻合，当助力电流特性最终设计完成后，所实现的额定转向手力还需进行验证，其偏差不应超出±10%设计目标值，且曲线应平滑，不应出现异常波动情况。

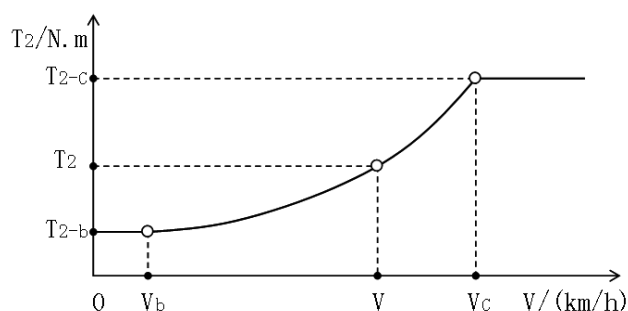


图7 额定转向手力设计目标与车速的关系曲线

6.3.2 额定转向手力特性的控制算法

$$T_2 = \begin{cases} T_{2-b} & V < V_b \\ \frac{w_1}{1 + w \times (V - V_b)} + w_2 & V_b \leq V \leq V_c \\ T_{2-c} & V_c < V \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

w —手力随速增益系数，它是调校标定参数，可通过调节 w 来改变曲线形式；

$$w_1 = \frac{(T_{2-c} - T_{2-b})(1 + w \times V_c - w \times V_b)}{w \times V_b - w \times V_c}, \quad w_2 = \frac{T_{2-c}(1 + w \times V_c - w \times V_b) - T_{2-b}}{w \times V_c - w \times V_b}。$$

6.4 额定助力电流特性设计及其控制算法

6.4.1 额定助力电流特性设计目标

根据附录A中表A.1所汇总的转向系统基本要求，应转化成如表A.2所示的EPS主要目标参数，依据其中EPS电机输出扭矩，按式（4）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的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5所示的规范且平滑的数据曲线，依此所推导出额定助力电流特性设计目标，也并非都能拟合出规范且平滑的额定助力电流特性设计目标曲线，因此将表A.2所列典型数据点推导出对应额定助力电流的设计目标点，在额定助力电流特性设计时，尽可能地逼近且兼顾这些设计目标点即可。

$$I_V^* = \frac{T_m}{K_t} + I_k \quad \dots\dots\dots (4)$$

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 —EPS电机转矩常数（N.m/A）， I_k —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8中作为设计目标。

如图8所示的额定助力电流与车速的关系曲线，需符合图5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），而随车速提高则额定助力电流较小（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，与不同车速下所对应的转向负载进行匹配。

该曲线应根据设计者经验，预设二个特征点：V1车速下的额定助力电流点（V1，I_{v1}）、V6车速下的额定助力电流点（V6，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S2进行调节，使该曲线尽可能地逼近且兼顾各设计目标点。

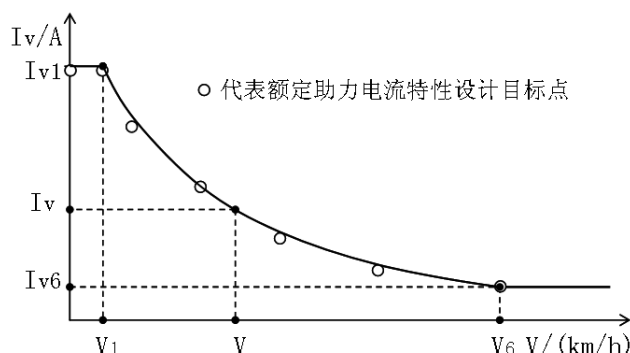


图8 额定助力电流与车速的关系曲线

6.4.3 额定助力电流特性的控制算法

$$I_v = \begin{cases} I_{v1} & V < V_1 \\ \frac{m_1}{s_1 + s_2 V} + m_2 & V_1 \leq V \leq V_6 \\ I_{v6} & V_6 < V \end{cases} \quad (5)$$

式中：

s_2 —助力随速衰减系数，它是调校标定参数，可通过调节 s_2 来改变曲线形式；

$$s_1 = 1, \quad m_1 = \frac{(I_{v1} - I_{v6})(s_1 + s_2 V_1)(s_1 + s_2 V_6)}{s_2 V_6 - s_2 V_1}, \quad m_2 = \frac{I_{v1}(s_1 + s_2 V_1) - I_{v6}(s_1 + s_2 V_6)}{s_2 V_1 - s_2 V_6}。$$

6.5 饱和电流设计及其控制算法

6.5.1 饱和电流特性

拐点扭矩T3可设置为定值或变值二种情况，当T3为变值时才需要计算饱和电流I_x值。

如图9所示，饱和电流与车速的关系曲线，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。

该曲线应根据设计者经验，预设二个特征点：V_a车速下的饱和电流点（V_a，I_{xa}）、V6车速下的饱和电流点（V6，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g2进行调节。

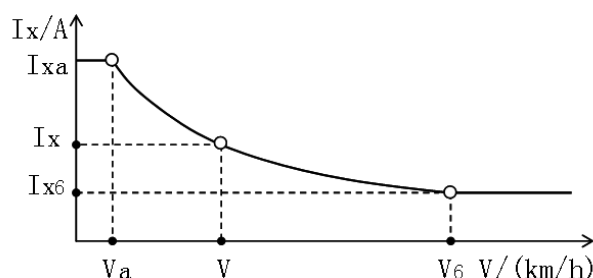


图9 饱和电流与车速的关系曲线

6.5.2 饱和电流特性的控制算法

$$I_x = \begin{cases} I_{xa} & V < V_a \\ \frac{b_1}{g_1 + g_2 V} + b_2 & V_a \leq V \leq V_6 \\ I_{x6} & V_6 < V \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

g_2 —饱和电流衰减系数，它是调校标定参数，可通过调节 g_2 来改变曲线形式；

$$g_1 = 1, \quad b_1 = \frac{(I_{xa} - I_{x6})(g_1 + g_2 V_a)(g_1 + g_2 V_6)}{g_2 V_6 - g_2 V_a}, \quad b_2 = \frac{I_{xa}(g_1 + g_2 V_a) - I_{x6}(g_1 + g_2 V_6)}{g_2 V_a - g_2 V_6}。$$

6.6 助力电流特性设计及其控制算法

6.6.1 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计算出的饱和电流 I_x 将被应用到助力电流特性设计中，此二种情况将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已计算出相关参数 T_1 、 T_2 、 I_v 都将被应用到助力电流特性设计中。

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。

根据以上已计算出的三个特征点： 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的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，使变化区段的曲线尽可能地符合人与车的转向操纵规律。

按附录A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10所示。

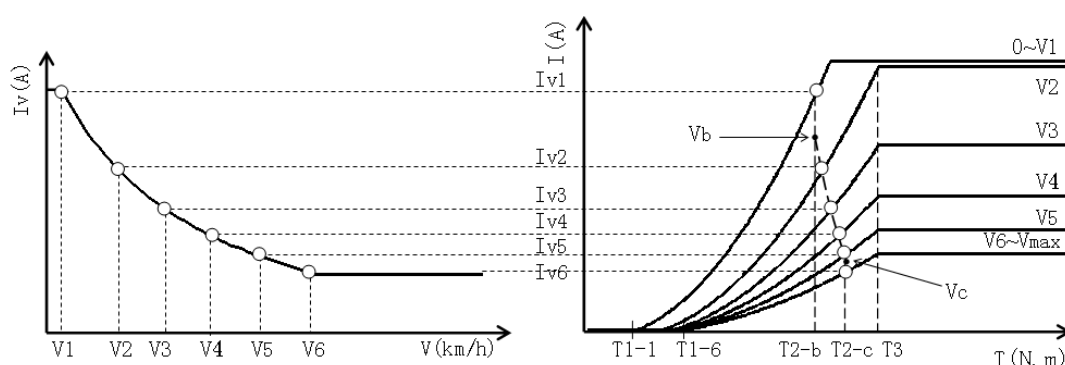


图10 额定助力电流特征点与助力电流特性族曲线对应关系

6.6.2 曲线型助力电流特性的控制算法

6.6.2.1 拐点扭矩 T_3 为定值时曲线型助力电流特性的控制算法

$$I = \begin{cases} 0 & T \leq T_1 \\ I_T & T > T_1 \text{ and } V < V_a \text{ and } I_T \leq I_{\max} \\ I_{\max} & T > T_1 \text{ and } V < V_a \text{ and } I_T > I_{\max} \\ I_T & T > T_1 \text{ and } V \geq V_a \text{ and } I_T \leq I_{T3} \\ I_{T3} & T > T_1 \text{ and } V \geq V_a \text{ and } I_T > I_{T3} \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

m —助力曲线增益系数，它是调校标定参数，可通过调节 m 来改变族曲线形式；

$$a = \frac{I_V - 2m - 2\sqrt{m^2 - mI_V}}{(T_2 - T_1)^2}, \quad b = \frac{I_V}{T_2 - T_1} - (T_2 + T_1)a, \quad c = -aT_1^2 - bT_1, \quad I_T = aT^2 + bT + c, \quad I_{T3} = aT_3^2 + bT_3 + c。$$

6.6.2.2 拐点扭矩 T_3 为变值时曲线型助力电流特性的控制算法

$$I = \begin{cases} 0 & T \leq T_1 \\ I_T & T > T_1 \text{ and } I_T \leq I_x \\ I_x & T > T_1 \text{ and } I_T > I_x \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

m —助力曲线增益系数，它是调校标定参数，可通过调节 m 来改变族曲线形式；

$$a = \frac{I_V - 2m - 2\sqrt{m^2 - mI_V}}{(T_2 - T_1)^2}, \quad b = \frac{I_V}{T_2 - T_1} - (T_2 + T_1)a, \quad c = -aT_1^2 - bT_1, \quad I_T = aT^2 + bT + c。$$

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，可供驾驶者选择应用。

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，其模式选择框图参见附录B中图B。

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11所示，相关参数按附录B中表B推荐值参考执行。

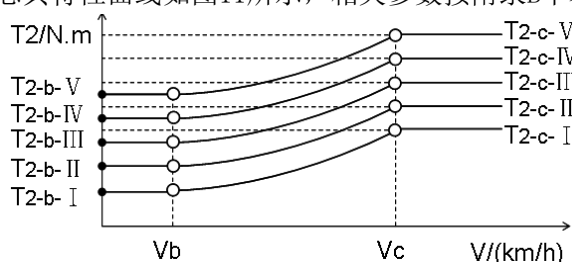


图11 多驾驶模式所对应的额定转向手力特性曲线示意图

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12所示，相关参数按附录B中表B推荐值参考执行。

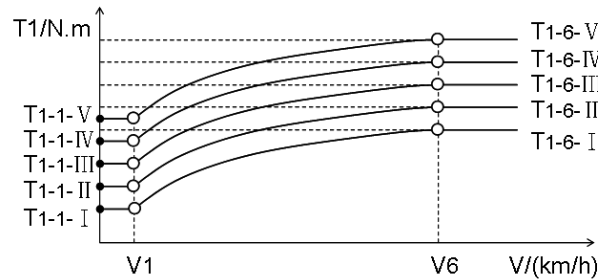


图12 多驾驶模式所对应的死区扭矩特性曲线示意图

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T3作为定值，按附录B中表B推荐值参考执行。

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13所示。

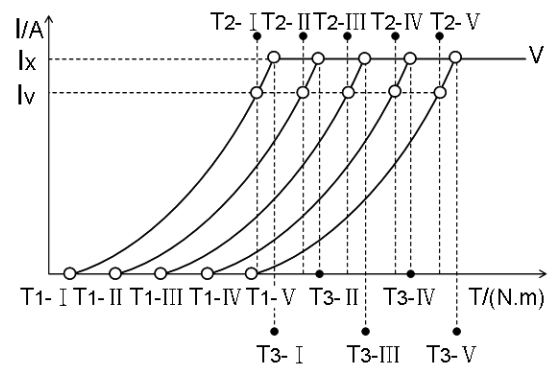


图13 多驾驶模式在某车速下的助力电流特性曲线示意图

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，都会影响第四项标定的效果，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

通常采用上位机与ECU连接进行可视化标定，经验证合格的相关参数将由上位机驱动，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：T1-1、T1-6、V1、V6，是经验参数，按附录A和附录B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= 0.001~0.2。

8.3.3 额定转向手力特性的标定参数

相关设置参数包括：T2-b、T2-c、Vb、Vc，是经验参数，其中T2-b、T2-c按附录B中表B推荐值选取，Vb可在10~30km/h之间取初设值，Vc在(V6-20)~V6之间取初设值，通常取Vc=V6。

相关调校参数：w，又称为：手力随速增益系数，其调节范围：w= -0.015~0.02（w≠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：Iv1、Iv6、V1、V6，是经验参数，其中V1、V6在条8.3.2已选取了推荐值，结合附录A中表A.2的EPS电机输出扭矩值，Iv1、Iv6可按式（4）计算获得初始值。

相关调校参数：s2，又称为：助力随速衰减系数，其调节范围：s2= 0~0.5。

8.3.5 助力电流特性的标定参数

相关设置参数包括：Imax、Va、T3，是经验参数，根据条8.3.4计算出Iv1初始值，Imax取Iv1~(Iv1+10)之间为初始值，T3按附录B中表B推荐值选取，Va与T3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Va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= -100~0。

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，所获得的T1、T2、Lv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

根据经验先预设相关参数，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按附录C中图C要求参照执行。

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			
	V1	Va	V6	Vb	Vc	T1-1	T1-6	T2-b	T2-c	T3	Imax	Iv1	Iv6	m	S2	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，参考附录D中给出的有关助力电流特性的示例图和示例表。

附 录 A
(资料性)

转向系统基本要求和 EPS 主要目标参数

A.1 转向系统基本要求

整车厂等EPS使用单位应按表A.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A.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，车辆转向负载是最大的，通常为兼顾各种路面及车辆不同载荷，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的额定输出扭矩，所对应齿轮齿条转向器齿条力称为最大的额定齿条力；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的额定输出扭矩或额定齿条力的比值，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 A.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	V0					
极低速快转	V1					
低速快转	V2					
中低速快转	V3					
中速快转	V4					
中高速快转	V5					
高速快转	V6					

A.2 EPS主要目标参数

EPS生产单位应根据表A.1的转向系统基本要求，按表A.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（A.1）计算所需的EPS输出扭矩；

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

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（A.2）计算所需的EPS输出扭矩；

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

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（A.3）计算所需的EPS电机输出扭矩；

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

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 $T_f=1\text{N.m}$ ， 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（A.4）计算所需的EPS电机输出转速；

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

式中：

n —EPS电机输出转速（rpm）， ω —方向盘转角速度（°/s）。

——按式（A.5）计算所需的EPS电机输出功率；

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

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 A. 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	V0								
极低速快转	V1								
低速快转	V2								
中低速快转	V3								
中速快转	V4								
中高速快转	V5								
高速快转	V6								

附 录 B
(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手力T2和死区扭矩T1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，按表B推荐的相关参数值（不局限于此表中推荐值）参照执行。

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B。

表 B 多驾驶模式相关参数值推荐表

驾驶模式	额定转向手力 T2/N.m		死区扭矩 T1/N.m		定值拐点扭 矩 T3/N.m	转向手力 T/N.m (区间)	
	T2-b	T2-c	T1-1	T1-6	T3	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

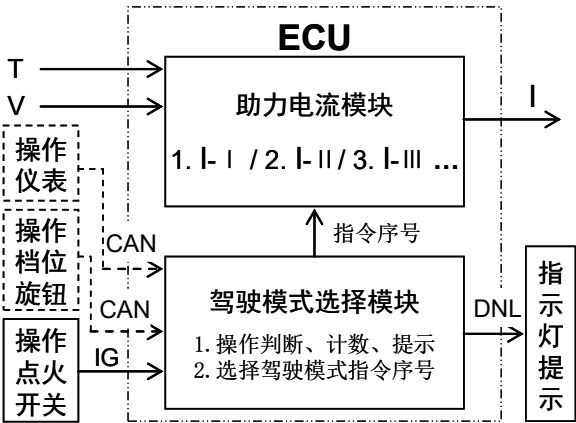


图 B 驾驶模式选择的控制逻辑关系示意框图

附 录 C
(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C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，按附录B中表B适当调整相关参数，重新对每种驾驶模式的助力电流特性，仍参照图C流程进行标定。

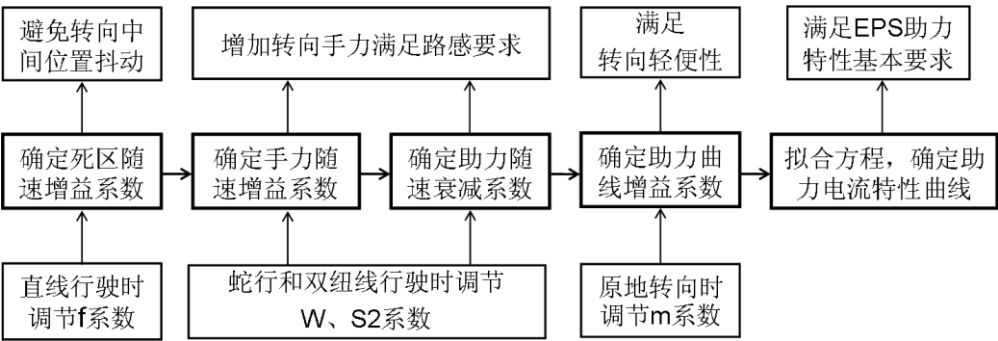


图 C 助力电流特性标定流程示意图

附 录 D
(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。

例图D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D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。

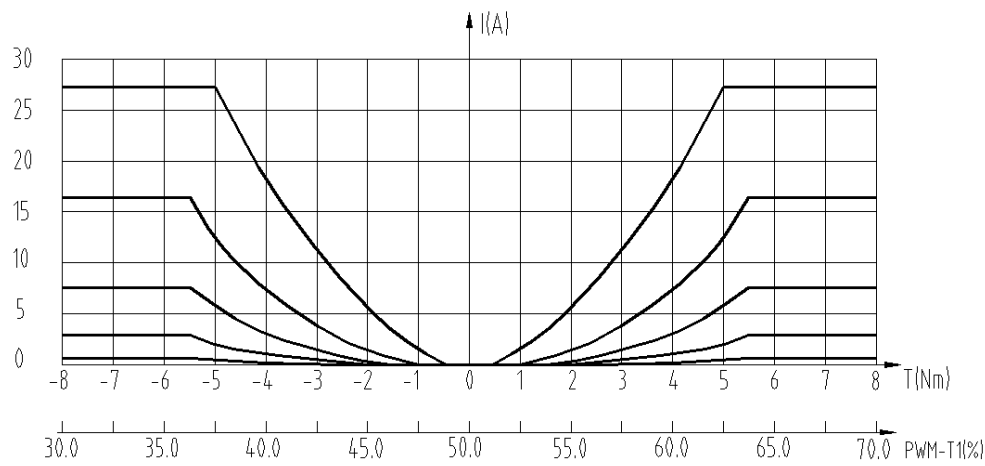


图 D EPS 控制器助力电流特性曲线示例图

表 D 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 T1 (N.m)	拐点扭矩 T3 (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