



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

乘用车转向系统功能安全要求及试验方法

Functional safety requirements and test methods for passenger car steering system

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2024年4月30日）

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

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 一般要求	1
5 相关项定义	1
5.1 目的	1
5.2 要求	2
6 危害分析和风险评估	2
6.1 目的	2
6.2 要求	2
7 安全要求	3
7.1 目的	3
7.2 总体要求	3
7.3 EPS 系统安全要求	3
7.4 EPS 系统安全机制	4
8 安全分析	5
8.1 目的	5
8.2 整车层面的安全分析	5
8.3 系统层面的安全分析	5
9 验证和确认	6
9.1 目的	6
9.2 验证	6
9.3 确认	6
附录 A（资料性） EPS 系统相关项定义	8
附录 B（资料性） EPS 系统危害分析和风险评估	11
附录 C（资料性） 故障容错时间间隔（FTTI）的定义	16
附录 D（资料性） EPS 系统功能安全确认测试方法	17
附录 E（资料性） EPS 系统典型安全机制	25
附录 F（资料性） EPS 系统安全分析示例	28
附录 G（资料性） EPS 系统功能安全验证测试方法及示例	34

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC114）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

乘用车转向系统功能安全要求及试验方法

1 范围

本文件规定了乘用车转向系统的功能安全要求及试验方法。

本文件适用于安装在GB/T 15089规定的M₁类车辆上,用于控制车辆侧向运动的电动助力转向系统(以下简称“EPS系统”),其他转向相关电气/电子系统可参照执行。

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/T 15089 机动车辆及挂车分类

GB 17675-2021 汽车转向系 基本要求

GB/T 34590.1~34590.12 道路车辆 功能安全

3 术语和定义

GB/T 34590.1—2022界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 单一要素失效分析 single element failure analysis; SEFA

基于系统理论事故模型和过程的危害分析方法。

3.2 系统理论过程分析 system theoretic process analysis; STPA

基于系统理论事故模型和过程的危害分析方法。

3.3 安全度量 safety metric

为符合安全目标而给定的具体技术参数的量化值。

[来源:GB 17675—2021, 3.2.7, 有修改]

4 一般要求

除非特别说明,乘用车转向系统的功能安全技术开发、流程开发等要求应按照GB/T 34590.1~34590.12—2022(所有部分)执行。

5 相关项定义

5.1 目的

本章的目的是定义并描述作为相关项的电动助力转向系统（EPS系统），以支持执行后续阶段活动。

5.2 要求

5.2.1 应按照 GB/T 34590.3-2022 中 5.4 的要求，对 EPS 系统进行相关项定义。EPS 系统应具备转向助力等功能，功能性要求应满足 GB 17675-2021。

注1：附录A给出了以EPS系统为相关项的相关项定义示例。

注2：定义EPS系统在整车层面的功能时，还考虑EPS系统与其他相关项的功能交互。功能交互包括其他相关项和要素要求转向系统提供的功能，如车辆驾驶模式控制系统要求EPS系统提供不同标定风格的转向助力，也包括转向系统要求其他相关项和要素提供的功能，如EPS系统要求仪表系统向驾驶员提供系统状态和报警信息。

5.2.2 EPS 系统助力功能应符合目标市场运行条件与环境约束的要求。

注：EPS系统运行条件除考虑车辆正常运行条件外，还可能包括行驶中车辆异常下电的情况，此时若EPS系统具备供电条件，保持转向助力有助于确保紧急情况下车辆运行的安全性。

6 危害分析和风险评估

6.1 目的

本章的目的是识别并分类因EPS系统的功能异常表现所引起的危害事件，定义EPS系统需要满足的安全目标，以避免不合理的风险。

6.2 要求

6.2.1 应按照 GB/T 34590.3-2022 中 6.4 的要求，对 EPS 系统进行危害分析和风险评估。

6.2.2 应对 EPS 系统的各类功能异常表现进行识别，并与运行场景进行组合分析，归类形成危害事件清单。EPS 系统的功能异常表现可能导致的整车层面典型危害见表 1。

表1 EPS 系统相关的整车典型危害

序号	危害
1	非预期的侧向运动
2	非预期的失去侧向运动控制
3	失去助力情况下的转向沉重 ^a
^a 考虑驾驶员在失去EPS系统转向助力后，仍可通过机械系统实现转向。	

注1：表1为非穷尽列表。当车辆运行场景不同时，将可能产生不同的危害事件。

注2：附录B给出了EPS系统危害分析和风险评估的过程及分析方法示例。

6.2.3 危害分析时除考虑 EPS 系统的正确使用，还应考虑可合理预见的误用。

示例：因 EPS 系统具有主动回正功能，驾驶员可能在转向回正过程中脱手。

6.2.4 危害分析和风险评估应采用系统性分析方法，以提升完整性和准确性。

注：附录B给出了可用于支持危害分析的系统性分析方法的示例。

6.2.5 EPS 系统应至少满足表 2 中所列的安全目标要求。

表2 转向相关安全目标

序号	安全目标	ASIL 等级	安全度量 ^a	FTTI	安全状态
1	车辆非预期的侧向运动应满足非预期侧向运动的安全度量	D	——非预期侧向运动导致的侧向加速度变化小于安全阈值； ——非预期侧向运动导致的侧向位移不超过安全阈值； ——非预期侧向运动导致的横摆角速度变化不超过安全阈值。	FTTI 的确定方法可参考附录C	降助力，关闭助力或其他适用的安全状态，并提供报警信息
2	车辆非预期的失去侧向运动控制应满足非预期失去侧向运动控制的安全度量	D	转向操纵力/转向盘力矩小于失去侧向运动控制的安全阈值	FTTI 的确定方法可参考附录C	降助力，关闭助力或其他适用的安全状态，并提供报警信息
3	转向操纵力应满足转向沉重的安全度量	QM或A	转向操纵力/转向盘力矩小于转向沉重的安全阈值	FTTI 的确定方法可参考附录C	降助力，关闭助力或其他适用的安全状态，并提供报警信息
^a 安全度量可基于不同车型和EPS系统方案，结合实车测试结果进行调整，具体参数选择可使用表格中的一个或者多个，关于安全度量阈值的测试定义方法可参考附录D。					

如果与表2所列的安全目标不一致，应具备相应的证据来证明EPS系统不会因功能异常表现而导致不合理的整车危害风险，至少包括如下证据：

- a) 整车危害风险已被考虑，并制定了合理的安全目标；
- b) 所制定的安全目标针对目标市场是适用和充分的。

7 安全要求

7.1 目的

本章的目的是提供EPS系统需要满足的安全要求及安全机制，以符合安全目标。

7.2 总体要求

应根据EPS系统的相关项定义和安全目标，按照GB/T 34590-2022的要求，导出功能安全概念和技术安全概念，确保相关安全目标得到正确和完整的实现。EPS系统应至少满足7.3的要求，若不适用应具备合理的理由。

注：本文件根据EPS系统特点规定了关键安全要求，不具有完备性。

7.3 EPS 系统安全要求

7.3.1 EPS 系统整车层面的安全要求

7.3.1.1 EPS 系统应根据驾驶员的转向意图提供转向助力扭矩。避免因故障导致识别驾驶员转向意图错误、转向指令计算错误或转向助力生成错误等，违背非预期侧向运动的安全度量。

7.3.1.2 EPS 系统应避免因错误地反向助力等故障导致转向操纵力过大，违背非预期失去侧向运动控制的安全度量。

7.3.1.3 EPS 系统应避免因故障导致转向助力不足或丢失，造成转向操纵力过大，违背转向沉重的安全度量。

7.3.2 针对 EPS 系统关键组件的安全要求

7.3.2.1 EPS 系统应对转向助力请求相关输入信号的异常进行周期性探测，避免错误的识别扭矩请求导致非预期侧向运动、失去侧向运动控制或转向沉重风险。

7.3.2.2 EPS 系统应对转向盘扭矩传感器短路（对地或对电源）、开路、信号卡滞、偏差等故障进行周期性探测，以避免因故障导致异常的转向意图识别，从而造成违背非预期侧向运动或失去侧向运动控制的安全度量。

注：故障探测门限和探测周期的确定，一方面可由安全度量及FTTI导出，另一方面可根据现有设计经验定义，然后通过验证确认证明合理性。

示例：通过冗余的扭矩传感器，实现对单路扭矩传感器异常的探测。

7.3.2.3 对于随车速调整转向助力水平的 EPS 系统，应周期性探测车速信号传输的完整性，避免因车速信号通信异常导致转向助力过大、过小或波动，而违背非预期侧向运动、失去侧向运动控制或转向沉重的安全度量。

示例：通过对总线输入的车速信号增加通信保护位，如：校验和、时间戳等，实现对车速信号通信异常的探测。

7.3.2.4 EPS 系统应对控制单元的异常进行周期性探测，避免错误的扭矩计算导致非预期侧向运动、失去侧向运动控制或转向沉重风险。

7.3.2.5 对于非驾驶员直接操作而产生的 EPS 系统转向扭矩，应控制在合理的水平，且能确保驾驶员对转向的控制，以避免引发潜在的非预期侧向运动或失去侧向运动控制的安全度量。

示例：主动回正功能可独立于驾驶员输入，提供转向扭矩。

注：对于同时存在多个可以触发转向扭矩的子功能，考虑对生成的总体扭矩进行约束，A.1提供了EPS主要功能的示例。

7.3.2.6 EPS 系统应对助力电机的驱动链路及电机的短路、开路故障进行周期性探测，避免异常扭矩导致违背非预期侧向运动、失去侧向运动控制或转向沉重的安全度量。

示例：EPS 系统对电机驱动桥 MOSFET 短路故障进行周期性探测，避免扭矩执行错误。

7.3.2.7 EPS 系统应对供电链路的过压、欠压异常进行周期性探测，以避免因电压异常导致违背非预期侧向运动、失去侧向运动控制或转向沉重的安全度量。

示例：EPS 系统对一定范围内的过压或欠压故障容错，当过压或欠压超出范围后，为避免危害，EPS 系统关闭电机驱动链路。

7.3.3 针对 EPS 系统失效降级的安全要求

7.3.3.1 当发生可能导致违背安全目标的故障时，EPS 系统应进入安全状态，安全状态可以是维持合理的 EPS 扭矩输出能力，或切断 EPS 扭矩输出而保持机械转向能力，同时发出报警信息。

注：安全状态的选择考虑系统可以保障的安全运行能力，及驾驶员对车辆转向的可控性水平，若驾驶员操纵力不足转向沉重安全度量，考虑更改机械转向比设计或引入EPS冗余设计。

7.3.3.2 对于具备冗余转向能力的 EPS 系统，当系统发生单助力链路失效时，应避免因链路切换造成过大的扭矩波动，而导致违背非预期侧向运动的安全度量。

注：单助力链路是指能实现基本转向助力功能的最小组件集，含传感、控制和执行等必要组件。通过增加冗余组件，可实现部分或全部的冗余转向助力功能，对于部分冗余 EPS 系统，不同助力链路间可能共用组件。

7.3.3.3 对于为避免失去助力导致转向沉重危害而引入的冗余 EPS 系统，当系统发生单助力链路失效后，应根据剩余工作链路发生进一步失效的可能性，及时发出报警信息，避免备份链路故障导致违背转向沉重的安全度量。

7.4 EPS 系统安全机制

为满足EPS系统的安全要求，应定义用于安全相关故障的探测和处理的安全机制，避免导致危害风险。

示例：EPS系统可采取的典型安全机制见表3。

表3 EPS系统典型安全机制

序号	安全机制
1	传感器冗余校验机制
2	通信保护机制
3	信号有效性检查机制
4	软件多样性设计机制
5	微控制器（MCU）外部看门狗机制
6	控制器（ECU）温度监控机制
7	电压/电流监控机制
8	扭矩输出监控机制
9	助力关断及报警机制
注：本表给出的安全机制不具有完备性，相关安全机制的详细介绍见附录E。	

8 安全分析

8.1 目的

本章的目的是定义应开展的功能安全分析活动及工作成果，以确保因EPS系统故障导致的危害风险被充分识别，根据安全目标导出的安全要求是正确且完整的。

8.2 整车层面的安全分析

8.2.1 应针对EPS系统开展整车层面的安全分析，至少包括：

- 分析EPS系统与车辆其他系统的交互（含交互接口故障的条件下）可能导致的潜在安全风险及对应的安全措施，确保风险被充分识别和覆盖；
- 分析EPS系统功能异常表现引起的整车安全风险及对应的安全措施的有效性。

8.2.2 整车层面的安全分析可采用危害与可操作性分析（HAZOP）、危害分析和风险评估（HARA）、单一要素失效分析（SEFA）、归纳分析法（例如FMEA）、演绎分析法（例如FTA）、探索性分析（例如STPA）或适合整车层面安全分析的其他类似方法。

注：B.2和附录F提供了整车层面安全分析的示例。

8.3 系统层面的安全分析

8.3.1 应开展EPS系统层面的安全分析，确保不存在由于系统性故障或随机硬件故障而导致违背安全目标的不合理风险。系统层面的安全分析应至少包括：

- 识别可能导致违背安全目标或安全要求的故障或失效；
- 针对识别出的故障或失效，定义预防或控制措施；
- 提供安全概念适用性的证据；
- 支持安全概念、安全要求的验证。

8.3.2 系统层面的安全分析可采用归纳分析法（例如FMEA）、演绎分析法（例如FTA）、相关失效分

析（DFA）、探索性分析（例如 STPA）或适合系统安全分析的其他类似方法。

注：附录F提供了系统层面安全分析的示例。

9 验证和确认

9.1 目的

本章的目的是定义EPS系统验证和确认活动所需满足的要求，提供了验证测试和确认测试的要求。

9.2 验证

9.2.1 应对 EPS 系统功能安全要求、技术安全要求和安全机制的正确实施进行验证，含安全相关接口的一致性验证。

注：附录G提供了EPS系统功能安全验证测试方法及示例。

9.2.2 为验证 EPS 系统安全机制的有效性，应开展故障注入测试。

注：故障注入可采用硬件或软件方式模拟实现。

9.2.3 为验证 EPS 系统在不同环境条件下（如路面条件等）工作的稳定性，宜开展鲁棒性测试。

9.3 确认

9.3.1 应针对 6.2.5 规定的安全目标开展安全确认，以证明安全目标是充分的且得到了实现。

9.3.2 EPS 系统安全确认测试应包含表 4 的测试要求。

注：附录D提供了EPS系统功能安全确认测试方法示例。

表4 EPS 系统功能安全确认测试要求

序号	整车危害类别	故障类型 ^a	试验工况 ^{b,c}	接受准则
1	非预期的车辆侧向运动	<ul style="list-style-type: none"> ——根据7.3.2.2, 扭矩传感器短路（对地或对电源）、开路、信号卡滞、偏差故障； ——根据7.3.2.3, 车速通信接口类故障； ——根据7.3.2.6, 电机驱动链路及电机短路、开路故障； ——根据7.3.2.7, 供电链路的过压、欠压故障； ——根据7.3.3.2和7.3.3.3, 对于具备冗余转向能力的EPS系统, 丢失单通道助力故障； ——ECU故障导致电机输出非预期转向扭矩。 	在附着系数约为0.8的水平路面上, 空载车辆以60km/h的车速沿试验通道中线直线行驶, 注入故障。	<ul style="list-style-type: none"> ——满足6.2中表2和7.3.3.1的要求； ——其他接受准则（如有）
2	非预期的失去侧向运动控制	<ul style="list-style-type: none"> ——根据7.3.2.2, 扭矩传感器短路（对地或对电源）、开路、信号卡滞、偏差故障； ——根据7.3.2.6, 电机驱动链路及电机短路、开路故障； ——根据7.3.2.7, 供电链路的过压、欠压、开路 	在附着系数约为0.8的水平路面上, 满载车辆以25km/h的车速驶入半径为35米的弯道试验通道并沿中线行驶, 注入故障。	<ul style="list-style-type: none"> ——满足6.2中表2和7.3.3.1的要求； ——其他接受准则（如有）

序号	整车危害类别	故障类型 ^a	试验工况 ^{b,c}	接受准则
		故障； ——ECU故障导致电机输出扭矩卡滞。		
3	失去助力情况下的转向沉重	——根据7.3.2.2, 电机驱动链路及电机短路、开路故障； ——根据7.3.2.7, 供电链路的过压、欠压、开路故障； ——根据7.3.3.2和7.3.3.3, 对于具备冗余转向能力的EPS系统, 丢失单通道助力故障； ——ECU故障导致失去助力。	在附着系数约为0.8的水平路面上, 满载车辆以25km/h的车速驶入半径为35米的弯道试验通道并沿中线行驶, 注入故障。	——满足6.2中表2和7.3.3.1的要求； ——其他接受准则(如有)
注: 对于同一组件的故障测试, 可能同时考核多个安全目标的符合性, 若测试场景相同, 可合并测试。				
<p>^a 相关故障为 EPS 系统典型故障类型, 若不适用, 应具备合理的理由。</p> <p>^b 对于无法在实车层面模拟的故障模拟测试, 可在确保替代测试准确性的情况下, 通过硬件在环(HIL)等其他方式开展测试。</p> <p>^c 试验车速、车辆质量状态、路面附着系数、转弯半径可根据制造商安全确认规范中的相关试验工况进行调整。试验初始车速与规定车速之间的偏差不应超过±2km/h。</p>				

附 录 A
(资料性)
EPS 系统相关项定义

A.1 目的

本附录目的是以EPS系统作为相关项，提供其定义方法及示例。

A.2 EPS 系统相关项定义示例

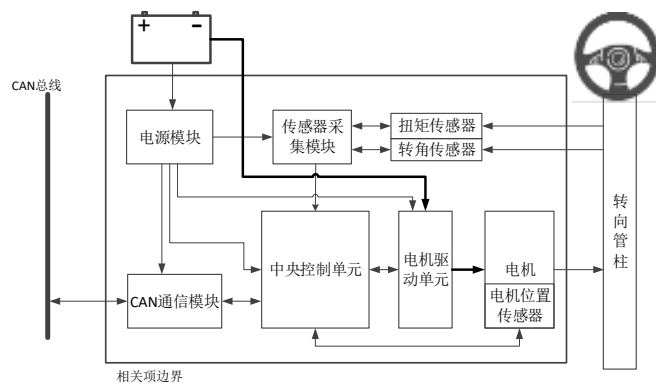
A.2.1 功能和架构

应列出EPS系统的功能，并对各个功能进行定义和说明。表A.1给出了EPS系统功能定义的示例。

表A.1 EPS 系统功能定义示例

序号	功能名称	功能描述
1	转向助力功能	基于驾驶员的转向盘输入，结合车辆运行状态(如：车速等)，计算并提供转向助力，实现驾驶员轻松转向
2	主动回正功能	在车辆转向回正过程中，提供转向回正力矩，帮助转向盘快速且准确的回到居中直行位置
3	惯性补偿功能	补偿转向系统内部零件转动的惯性力，消除其对驾驶员转向手感迟滞的影响
4	摩擦补偿功能	针对转向系统内部摩擦力，提供补偿助力，改善转向手感
5	跑偏补偿功能	对路面不平或车辆原因导致发生跑偏的情况，提供抑制跑偏助力，帮助驾驶员维持正确的前进方向

EPS系统边界、要素、接口及交互关系见图A.1。



图A.1 EPS 系统相关项边界、要素、接口及交互关系示例

图A.1中的EPS系统主要要素及功能描述见表A.2。要素功能描述为后续功能异常分析和危害行为识别提供了基础。

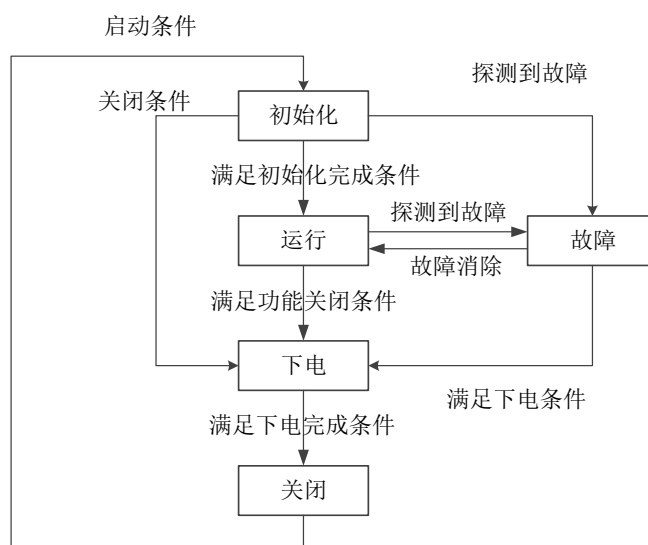
表A.2 相关项要素清单

序号	要素	功能描述
1	扭矩传感器	测量施加在转向盘上的力矩的传感器
2	转角传感器	测量转向盘转角的传感器
3	传感器采集模块	接收扭矩/转角传感器信号，处理后转发给中央控制单元
4	电源模块	为EPS系统内部相关组件提供电能
5	CAN通信模块	按照通信协议，解析获取外部输入信号，并打包发出内部信号，实现与整车的信息交互
6	中央控制单元	根据各传感器及车辆运行状态信号输入，计算生成电机驱动单元控制指令，以驱动电机输出驾驶员预期的转向助力
7	电机驱动单元	用于将中央控制单元发出的电机驱动要求转换成电机可识别的驱动控制信号
8	电机	根据电机驱动单元指令，将电能转化为扭矩输出
9	电机位置传感器	测量电机转子位置，并提供给中央控制单元

A.2.2 运行场景与运行模式

运行场景的定义考虑与EPS系统相关的整车正常使用场景及可合理预见的误用场景。

运行模式需要定义模式之间的转换关系。包含初始化、运行、故障等。图A.2给出了EPS系统运行模式及各模式间的切换条件。



图A.2 EPS系统运行模式

针对运行模式的描述见表A.3。

表A.3 EPS系统运行模式说明

序号	状态	描述
1	初始化	初始上电过程，系统进行软件加载、故障自检等
2	运行	系统正常工作
3	故障	系统探测到故障条件，进入故障状态，部分或全部功能降级，可能发出报警信息

4	下电	系统下电过程，系统完成参数存储、故障自检等
5	关闭	系统关闭

EPS系统的运行模式信息将为危害场景分析、功能安全概念、技术安全概念和安全确认提供输入。

A. 2. 3 EPS系统的非功能要求

EPS系统的非功能要求包括工作温度范围、电压范围、最大电流、耐久及可靠性要求等。EPS系统的非功能要求将为技术安全概念和安全确认提供输入。

示例1：EPS 系统运行温度范围为-40℃~105℃（其中，-35℃~80℃可提供 100%助力）。

示例2：EPS 系统工作电压范围为 6V~20V，其中 9V~18V 范围内，EPS 可以提供 100%助力。

A. 2. 4 EPS系统输出能力参数

EPS系统主要参数还包括电机输出能力等，示例见表A. 4。

表A. 4 EPS 系统输出能力示例

序号	转向盘速度(° /s)	齿条力负载(N)	电机速度(RPM)	电机力矩(N·m)
1	0	9000	0	5.19
2	360	9000	1230	5.19
3	540	6300	1845	3.64
4	700	3600	2392	2.08

注1：以上参数的得出，基于齿条力9000N（20℃条件下），减速比20.5，转向传动比(C-Factor)：60mm/r，减速机构效率：85%，转向机效率：95%。

注2：不同助力型式的EPS系统，如管柱助力式、齿条助力式等，输出能力参数有差异。

EPS系统的输出能力参数可以作为安全度量转化为技术安全概念时的输入。

A. 2. 4 已知失效模式及危害风险

EPS系统已知的失效模式及危害风险的示见表A. 5。

表A. 5 EPS 系统已知失效模式及危害风险示例

序号	已知失效模式	可导致的危害风险
1	扭矩传感器信号异常导致错误的输出电机扭矩	非预期转向，车辆驶出车道
2	EPS 系统电机相短路导致大的转向迟滞力	转向失去控制，无法转向
3	EPS 系统供电异常	失去转向助力，转向沉重

附录 B

(资料性)

EPS 系统危害分析和风险评估

B.1 目的

本附录的第一个目的是提供危害分析的系统化分析方法，并给出利用这些方法得到EPS系统危害分析结果的示例。

本附录的第二个目的是为EPS系统的风险评估方法和评估结果提供参考，并提供安全目标的示例。

B.2 危害分析方法及示例

B.2.1 方法概述

危害识别应通过使用足够的技术手段系统地确定危害。本附录给出两种系统化的分析方法：

——危害与可操作性分析(HAZOP)；

——单一要素失效分析(SEFA)。

HAZOP分析方法从相关项功能层面出发，通过引导词分析特定功能异常可能导致的危害。SEFA分析方法从相关项架构层面出发，分析特定架构要素失效可能导致的危害。HAZOP和SEFA是基于可靠性理论的线性分析方法，分析中不考虑控制措施及安全机制，可基于相关项的已知设计识别危害风险，有针对性的导出预防或减轻这些功能及要素失效的安全要求。

注1：SEFA分析方法是架构层面的FMEA分析方法。

注2：注对于列入本附录的方法，可能存在多种应用形式，本附录仅给出了一种常见应用。分析可采用其他方法，本附录对所列方法及应用形式不具有倾向性。

B.2.2 危害与可操作性分析(HAZOP)

B.2.2.1 方法描述

HAZOP是一种探索型的分析方法，可用于识别和评估相关项的功能异常表现，有助于结构化和系统地检查相关项在整车层面的运行情况，该分析方法通过给相关项的每个功能添加适当的引导词来假定其不同的功能异常表现，该功能异常表现可导致危害，而该危害可能对目标车辆的驾乘人员，其他车辆及其乘客，或其他处于风险中的人员，如目标车辆附近的行人、骑自行车的人员或维修人员造成潜在伤害。

B.2.2.2 功能异常表现分析

基于EPS系统的功能定义，分析每个功能的异常表现，使用以下引导词：

- a) 功能丧失——在有需求时，不提供功能；
- b) 在有需求时，提供错误的功能：
 - 1) 错误的功能——多于预期；
 - 2) 错误的功能——少于预期；
 - 3) 错误的功能——方向相反。
- c) 非预期的功能——在无需求时，提供功能；
- d) 输出卡滞在固定值上——功能不能按照需求更新。

注：以上引导词并非适用于所有的分析，可根据分析范围和内容对引导词进行剪裁，也可选取其他引导词用于分析。

针对EPS系统的转向助力功能，HAZOP分析示例见表B.1。

表B.1 EPS系统转向助力功能的HOZAP分析

功能	引导词					
	功能丧失	在有需求时，提供错误的功能			非预期的功能 (在无需求时，提供功能)	输出卡滞在固定值上(功能不能按照需求更新)
		错误的功能(多于预期)	错误的功能(少于预期)	错误的功能(方向相反)		
转向助力功能	助力丧失	助力过大	助力不足	助力反向(提供相对于请求相反方向的助力)	非预期助力	转向锁死(转向输出卡滞在固定值或固定位置)

B.2.2.2.1 危害识别

考虑车辆不同的运行场景，进一步分析每个功能异常表现在整车层面上可能产生的危害。不同运行场景中，同一功能异常表现可能导致整车层面的多种危害。

示例：对于非预期的提供转向助力，在车辆处于直线行驶时，可能造成的整车危害是非预期的车辆侧向运动；在车辆静止时，可能造成的整车危害是转向盘快速转动导致人员手部伤害。

另外，不同功能异常表现可能导致整车层面的同一危害。危害分析是一个迭代过程，考虑到不同的车辆运行场景和生命周期阶段，相关项的功能异常表现和相应的车辆层面危害也会在分析过程中不断更新。

将表B.1中识别出的功能异常表现映射到表B.2中的整车层面的危害。

表B.2 危害汇总

功能异常表现	整车层面的危害
转向助力丧失	失去助力情况下的转向沉重
转向助力过大	非预期的车辆侧向运动
转向助力不足	失去助力情况下的转向沉重
转向助力反向	非预期的车辆侧向运动/非预期的失去车辆侧向运动控制
非预期的提供转向助力	非预期的车辆侧向运动
转向助力卡滞	非预期的失去侧向运动控制

B.2.3 单一要素失效分析(SEFA)

B.2.3.1 描述

SEFA分析方法是一种识别单一要素失效影响的系统性分析方法。该方法探索性的分析要素失效对系统整体的影响，来确定是否有足够的措施来避免或减轻潜在的危害风险。SEFA分析可用于相关项危害的识别。

注1：SEFA分析基于相关项架构要素及其交互，分析的对象可包括：系统要素、硬件要素及要素间的交互。

注2：SEFA分析提供了一个独立于HAZOP的分析方法。由于采用了不同的分析角度，为危害的识别方法提供了补充；由于分析基于相关项的架构设计，SEFA分析结果也更容易贴近相关项的实际危害，并有利于导出安全要求。

注3：当相关项是基于已有设计的变更时，SEFA分析可快速识别变更对危害的影响。

B.2.3.2 SEFA 分析

B.2.3.2.1 要素失效分析和危害识别

根据相关项定义，启动SEFA分析。若相关项架构复杂，可按照系统边界将相关项打散为更小的功能块，单独对每一功能块进行分析，再汇总最后的分析结果。

SEFA分析方法假定作为相关项一部分的单个要素出现了失效，而其他要素正常。不考虑几个要素同时失效的情况，但会考虑要素失效后可能直接引发的其他要素失效，如供电要素失效导致多个其他要素失去能源和功能。

注1：危害分析和风险评估阶段，相关项架构要素的划分一般比较集中，在这一层面仅考虑单一要素的失效，通常可以支持危害识别的分析目的。

对要素失效模式的定义可参考行业标准、现有产品、专家经验等。失效模式的详细程度，决定了分析的细节程度和工作量。在危害识别阶段，失效的描述可关注功能性失效。针对表A.2中的要素，分析潜在失效模式，然后考虑其对系统整体的影响，再结合整车运行场景，识别出潜在的危害，见表B.3。

注2：为便于分析：运行场景仅考虑车辆行驶过程中；对同一要素的失效、系统层表现及整车危害的描述，非一一对应关系；相同的整车危害以同一序号标出。

表B.3 EPS 系统 SEFA 分析和危害识别

编号	要素	失效	系统层表现	运行场景	整车危害
1	扭矩传感器	无信号； 错误的扭矩信号。	无转向助力； 错误的转向助力。	直行、转弯， 等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a
2	转角传感器	无信号； 错误的转角信号。	无转向助力； 错误的转向助力。	直行、转弯， 等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a
3	传感器采集模块	无信号； 错误的扭矩或转角。	无转向助力； 错误的转向助力。	直行、转弯， 等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a
4	电源模块	无供电； 电压过高或过低。	无转向助力； 系统过流； 助力不足。	直行、转弯， 等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a HAZ_04冒烟或起火 ^b
5	CAN通信模块	无通信； 错误的通信值。	无转向助力 助力不足； 助力过大。	直行、转弯， 等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动

表B.3 EPS系统SEFA分析和危害识别（续）

6	中央控制单元	失去控制能力；错误的控制指令。	无转向助力；错误的转向助力。	直行、转弯，等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a
7	电机驱动单元	无驱动输出；短路过载；错误的驱动输出。	无转向助力；系统过流；错误的转向助力。	直行、转弯，等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a HAZ_04冒烟或起火 ^b
8	电机	开路；短路；错误的转速。	无转向助力；系统过流；错误的转向助力。	直行、转弯，等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a HAZ_04冒烟或起火 ^b
9	电机位置传感器	无信号；错误的位置信号。	无转向助力；错误的转向助力。	直行、转弯，等	HAZ_01转向沉重 HAZ_02非预期的车辆侧向运动 HAZ_03失去侧向运动控制 ^a
^a 过大的系统转向力可导致驾驶员无法人力转动转向盘，从而失去对车辆侧向运动的控制。 ^b 相比于HAZOP分析，HAZ_04可能是新识别出的危害。因过载导致的冒烟或起火危害可通过外部措施避免，如：保险丝，则可不列入相关项的危害清单中。					

基于上述危害分析，将EPS系统危害事件归类，得到表1的汇总。

B.3 风险评估

B.3.1 概述

完成危害识别后，基于确定的理由，为危害事件定义可控性C、暴露概率(E)和严重度(S)，最终完成ASIL评级。

B.3.2 严重度和暴露概率评级

表B.4展示了EPS系统危害事件的严重度和暴露概率评估的示例。

表B.4 EPS 系统危害事件的暴露概率和严重度评级示例

危害事件类别	严重度分析	S	暴露概率分析	E
非预期的车辆侧向运动	车辆中高速行驶过程中，发生非预期侧向运动，可能导致与其他交通参与者或道路基础设施发生严重碰撞，有致命风险	3	车辆中高速行驶，每次驾驶循环都可能发生	4
非预期的失去侧向运动控制	车辆中高速行驶过程中，转向系统锁死或卡滞在某个位置，导致驾驶员难以转向而与其他交通参与者或道路基础设施发生严重碰撞，有致命风险	3	车辆中高速行驶，每次驾驶循环都可能发生	4
失去助力情况下的转向沉重	转向助力丢失，此时驾驶员可以通过转向机械结构进行转向操作，低速时需要更大的转向盘操作力，遇到低速且大角度转弯工况时可能因转向不及时导致与其他交通参与者或路边基础设施发生低速轻微碰撞，有轻伤风险	1	低速大角度转弯，每次驾驶循环都可能发生	4

B.3.3 可控性评级

对危害事件的可控性进行评估，见表B.5。表中还提供了EPS系统可控性分级时使用的度量指标的参考。相关指标可基于目标市场典型驾驶员的可控性测试得出，指标用于支持可控性客观分级。

注：可控性度量指标客观地衡量了EPS系统功能异常是否构成驾驶员难以控制的不合理风险，因此，这些指标也可用作功能安全目标的度量指标。

表B.5 EPS系统危害事件的可控性评级及度量指标示例

危害事件类别	可控性分析	可控性度量指标	C
非预期的车辆侧向运动	车辆非预期的侧向运动，快速偏离轨迹，低于90%的驾驶员能及时反应和纠偏	侧向加速度变化	3
非预期的失去侧向运动控制	转向锁死或卡滞，低于90%的驾驶员可以控制转向	转向操纵力/转向盘力矩	3
失去助力情况下的转向沉重	失去助力后，大部分驾驶员可以通过机械系统实现转向，但转向沉重程度可能影响驾驶员可控性比例	转向操纵力/转向盘力矩	1-2

B.3.4 ASIL评级

EPS系统的危害事件ASIL评级见表B.6。

表B.6 EPS系统相关危害事件的ASIL评级

序号	整车危害	S	E	C	ASIL等级
1	非预期的侧向运动	3	4	3	ASIL D
2	非预期的失去侧向运动控制	3	4	3	ASIL D
3	失去助力情况下的转向沉重	1	4	1或2	QM或ASIL A

B.3.5 安全目标的定义

EPS系统的安全目标见表B.7。

表B.7 EPS系统的安全目标

序号	整车危害	ASIL等级	安全目标
1	非预期的侧向运动	ASIL D	车辆非预期的侧向运动应满足非预期侧向运动的安全度量
2	非预期的失去侧向运动控制	ASIL D	车辆非预期的失去侧向运动控制应满足非预期失去侧向运动安全度量
3	失去助力情况下的转向沉重	QM或ASIL A	转向操纵力应满足转向沉重的安全度量

注：安全目标可以表述为避免危害的发生，例如对于非预期的侧向运动的安全目标可以是“避免发生非预期的车辆侧向运动”，但这种表述难以支持功能安全概念的导出，为此需要引入安全度量指标。通过指标不仅可以明确的表达安全目标，还有利于功能安全概念和技术安全概念的导出。

附录 C

(资料性)

故障容错时间间隔 (FTTI) 的定义

C.1 目的

本附录的目的是提供故障容错时间间隔 (FTTI) 的定义方法指导及示例。

C.2 故障容错时间间隔 (FTTI) 的概述

对于EPS系统, 故障容错时间间隔是从可导致相关项危害行为 (如非预期转向扭矩) 的故障 (如扭矩传感器信号偏差故障) 发生, 到车辆危害事件发生 (非预期转向事件) 的时间间隔。

故障容错时间间隔是安全机制设计的重要输入, 对安全机制中故障诊断时间和故障处理时间提出了需求; 也用于评估已有故障处理机制是否满足安全要求。

C.3 定义 FTTI 的方法及要求

定义FTTI的方法包括分析计算、仿真、测试等。对FTTI的定义, 考虑以下方面:

- a) 因 FTTI 考察故障发生到危害事件发生的过程时间, 若通过测试得到, 需要屏蔽相关安全措施的影响 (安全措施可能延长甚至消除故障导致危害事件的发生)。
- b) 故障模式或程度不同, 影响也不同, 因此得到的 FTTI 时间长度也会有区别, 通常选取最小时长作为某类故障的典型 FTTI 值。
- c) FTTI 的计时起点是故障注入时刻, 终点是危害事件发生, 即危害行为违背安全目标度量的时刻。
- d) 因故障的影响到危害事件的发生, 可能经过多个传递环节, 如: EPS 系统电气/电子链路、机械结构、轮胎路面等。为此, 若初期通过分析计算得到了初始 FTTI, 当具备测试条件后, 在台架或实车层面开展故障注入测试, 以检验 FTTI 定义的正确性。

考虑可导致EPS系统危害事件的典型故障, 开展故障注入测试, 得到FTTI。测试场景可以参考附录 D.5。测试过程中, 在无安全机制的情况下, 注入合理的最严重故障值, 以得到最短FTTI值。

表C.1给出了以车辆偏离车道线为危害事件的故障容错时间间隔测试的示例。

表C.1 故障容错时间间隔测试示例

整车危害	故障模式	场景	故障注入 ^a	FTTI ^b
非预期的车辆侧向运动	转向电机输出非预期扭矩	执行工况, 参考附录D.5	注入转向电机某一方向最大扭矩值, 直至车辆偏离本车道时停止注入故障。	记录电机开始输出非预期扭矩 (故障发生) 的时间点为 t_1 , 发生危害事件的时间点为 t_2 , 则故障模式的 $FTTI=t_2-t_1$
^a 故障注入时长需要确保涵盖危害事件发生时刻。 ^b 危害事件发生时刻的定义, 可以是车辆部分或全部偏出本车道, 也可以是车辆非预期行为达到并将继续超过相关安全度量指标的时刻。				

附 录 D
(资料性)
EPS 系统功能安全确认测试方法

D.1 目的

本附录的目的是提供在整车层面对EPS系统安全目标进行安全确认的方法、测试流程和度量评价准则的参考及示例。本附录仅针对6.2.5表2中的转向相关危害和安全目标及安全度量要求，给出安全确认测试方法示例，其余转向相关安全目标（如有）的安全确认测试方法可参照执行。

D.2 总则

应根据GB/T 34590.4-2022中第8章的要求，对典型车辆上所集成的相关项进行安全确认，确保安全目标合理且得到实现。本附录提供了通过开展转向安全确认测试，在整车层面确认转向系统安全目标的示例。应根据D.3的要求提供相关文档和信息，按照D.4规定的安全确认计划和D.5提供的测试方法开展安全确认测试。

D.3 文档要求

开展安全确认前，应提供下列文档和信息：

- a) 危害分析和风险评估，至少包含第6章、附录B的要求。
- b) 功能安全概念，至少包含7.3、7.4的要求。

D.4 安全确认计划

应按照GB/T 34590.4-2022中8.4.1安全确认的环境、8.4.2安全确认的规范制定安全确认计划，并满足GB 17675-2021中关于确认计划的要求。

D.5 安全确认试验方法

D.5.1 试验目的

在驾驶员驾驶操控过程中，评估特定失效模式对车辆可控性的影响，确认是否满足9.3.2中规定的接受准则。

注：通过客观车辆动力学参数及车辆行为表现结合的方式进行评估。

D.5.2 试验条件

D.5.2.1 环境条件

应在无雨、雪、雾且风速不影响试验结果的情况下进行。

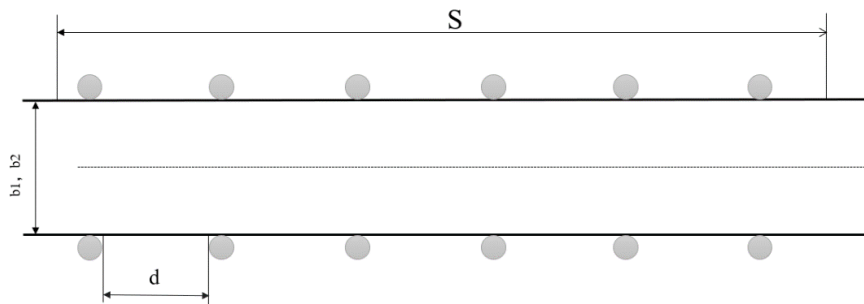
D.5.2.2 道路条件

试验道路应满足以下要求：

- a) 试验场地应为干燥、平坦而清洁的，用水泥混凝土或沥青铺装的路面，任意方向的坡度不宜大于2%，场地应有良好的附着系数。

- b) 试验场地应能布置符合本文件规定的直行和转弯车道，并在车道线外有额外的路面保证试验安全，见图 D. 1 和 D. 2。
- c) 应针对每项试验定义车道宽度，并设置用于界定车道的锥桶或其他要素。用于界定车道的要素设置方式应使其表面与车道的外边缘对齐，要素之间的最大距离不得超过车辆的长度。试验过程中的最大允许轨迹偏差指锥桶或其他要素不应倾倒和/或移动位置。

注：锥桶或其他要素用于界定车道并检查车辆是否偏离车道。此外，还可以使用差分GPS等合适的技术来测量车道偏离。



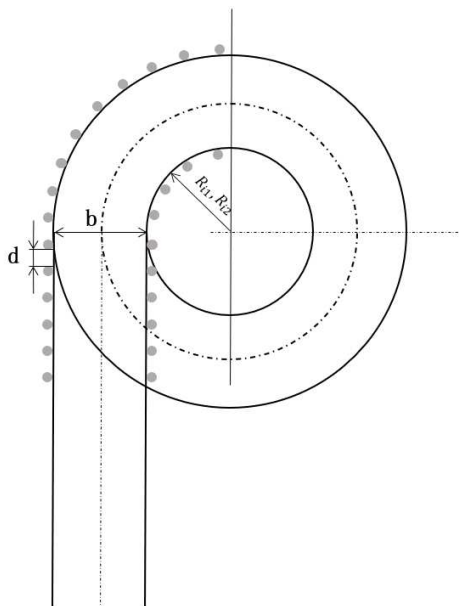
标引序号说明：

S——车道长度；

b1, b2——车道宽度；

d——锥距。

图D. 1 试验直道示意图



标引序号说明：

b——车道宽度；

R_{i1} 、 R_{i2} ——内径；

d——垂直的锥距。

图D. 2 试验弯道示意图

D.5.2.3 车辆状态

车辆的质量状态，应选择在注入不同故障时使车辆产生最大激励的前轴和后轴载荷。
轮胎气压充气到相应轴荷规定的推荐胎压。

D.5.2.4 试验仪器设备要求

测量各参数的试验设备应满足表D.1的要求。

表D.1 测量参数及要求

测量参数	单位	测量误差
环境温度	°C	±1
风速	m/s	±0.5
质量	kg	±1%
轮胎气压	kPa	±1%
车辆速度	km/h	±1%
转向操纵力	N	±2%
转向盘力矩	N·m	±1%
横向加速度	m/s ²	±1%
横向位移	m	±1%
时间	s	±1
转向盘转角	°	±0.1
车道宽度	m	±1%
锥距	m	±1%
弯道半径	m	±1%

D.5.3 试验场景

D.5.3.1 转向相关危害及典型运行场景

根据附录B中危害分析和风险评估过程，EPS系统的典型危害相关运行场景见表D.2。

表D.2 EPS系统典型危害相关运行场景

序号	整车危害	典型运行场景
1	非预期的车辆侧向运动	直行
2	非预期的失去侧向运动控制	转弯
3	转向沉重	转弯

注：车辆行驶过程中，EPS系统导致的典型危害行为包括：直行场景下驾驶员未转向时发生非预期侧向运动、转弯场景下驾驶员在转向过程中发生转向卡死（失去侧向运动控制）或难以转向（转向沉重）。

D.5.3.2 安全确认试验场景

基于D. 5. 3. 1中的运行场景，考虑目标市场典型交通情况，本附录提供了安全确认试验场景示例，见表D. 3、表D. 4。

表D. 3 直行场景安全确认试验

场景	试验道路	车速	车道宽度
直行：车辆在城市道路直线行驶	至少包含一条车道的长直道	60km/h ^a	3. 5m
^a 考虑城市道路的典型车速、限速等因素，选取车辆速度，可根据实际情况进行调整。			

表D. 4 转弯场景安全确认试验

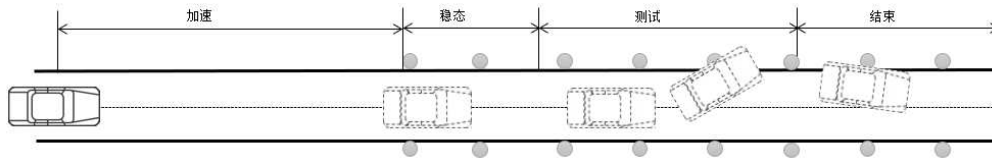
场景	试验道路	车速	车道宽度	转弯半径
转弯：车辆以某一速度在城市道路左转弯通过十字路口。	至少包含一条车道的1/4 圆环道路	25km/h	3. 5m	35m ^a
^a 考虑机动车道、非机动车道宽度以及转弯路缘石、转弯半径等因素，选取车辆转弯半径，可根据实际情况进行调整。				

注1：表D. 3、表D. 4规定的典型试验场景及工况参考了《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》、JTGD20-2006、JTJ001-97、GB 50647-2011、CJJ37-2012、CJJ152-2010等国内道路交通和公路设计方面的标准法规和规范。

D. 5. 4 试验步骤

D. 5. 4. 1 直行场景安全确认试验

D. 5. 4. 1. 1 本试验在表 D. 3 规定的场景中开展, 试验过程见图 D. 3。



图D. 3 直行场景安全确认试验步骤示意图

注：图D. 3中试验过程包括D. 5. 4. 1. 2~D. 5. 4. 1. 5规定的4个阶段：加速段、稳态段、测试段和结束段。

D. 5. 4. 1. 2 在附着条件良好（ $\mu \geq 0.8$ ）的水平路面上，将空载车辆加速至试验规定车速。

D. 5. 4. 1. 3 驾驶员驾驶车辆驶入试验车道，并沿试验车道中线以试验车速匀速直行行驶。

注：试验过程中驾驶员以日常姿势握住转向盘。在不同的试验工况中，驾驶员应根据不同的驾驶操控习惯在不同的位置握住转向盘。

D. 5. 4. 1. 4 试验人员向系统电子电气组件施加相应的输出信号，来模拟组件内部故障的影响/注入故障。驾驶员通过控制转向盘，尽可能使车辆行驶在直线车道内。

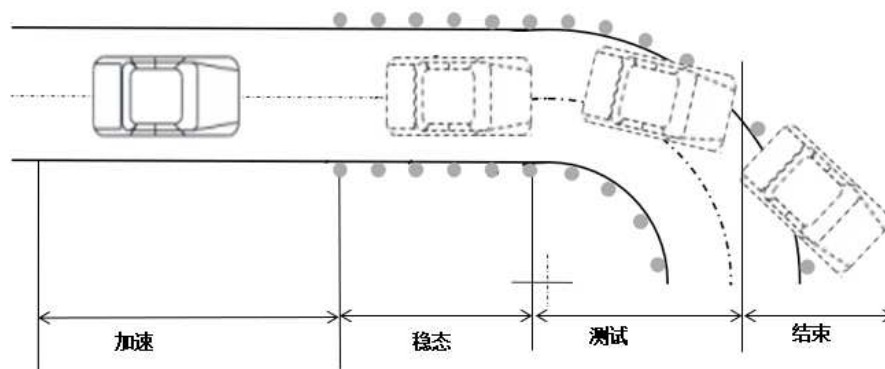
注：引起非预期的车辆侧向运动这一整车层面危害的要素失效可能来自于EPS系统的传感器、控制器或执行器。

示例：EPS 系统电机驱动链路发生故障，使电机产生非预期的助力扭矩输出，导致车辆产生非预期的侧向运动。通过故障注入设备在控制单元或电机驱动单元处注入某一大小的助力扭矩驱动信号，触发电机非预期转向助力。

D.5.4.1.5 驾驶员尽可能按照试验规定车速保持车辆在车道线之内，直线行驶一段距离后安全停车，试验结束。

D.5.4.2 转弯场景安全确认试验

D.5.4.2.1 本试验在表 D.4 规定的场景中开展，试验过程见图 D.4。



图D.4 转弯场景安全确认试验步骤示意图

注：图D.2中试验过程包括D.5.4.2.2~D.5.4.2.5规定的4个阶段：加速段、稳态段、测试段和结束段。

D.5.4.2.2 在附着条件良好（ $\mu \geq 0.8$ ）的水平路面上，将满载车辆加速至试验规定车速。

D.5.4.2.3 驾驶员驾驶车辆驶入直行试验车道，并沿试验车道中线以试验车速匀速直行行驶。

注：试验过程中驾驶员以日常姿势握住转向盘。在不同的试验工况中，驾驶员应根据不同的驾驶操控习惯在不同的位置握住转向盘。

D.5.4.2.4 驾驶员保持试验车速，控制车辆进入弯道，在驾驶员开始操作转向盘之后，完成转向动作之前，测试人员向系统电子电气组件施加相应的输出信号，来模拟组件内部故障的影响/注入故障。驾驶员通过控制转向盘，尽可能使车辆行驶在弯道车道内。

注：试验过程中驾驶员以日常转向的手部姿势握住转向盘。

D.5.4.2.5 驾驶员尽可能按照试验规定车速保持车辆在弯道车道线之内，待车辆完全驶过转弯车道线后安全停车，结束测试。

D.5.5 数据处理

D.5.5.1 应记录试验过程中与转向相关安全度量相关的车辆运动学参数的时间历程曲线。

示例：侧向加速度、转向盘力矩、侧向位移、横摆角速度、转向盘转角、车速、纵向加速度等。

注：可通过多通道数据采集设备记录上述车辆参数。

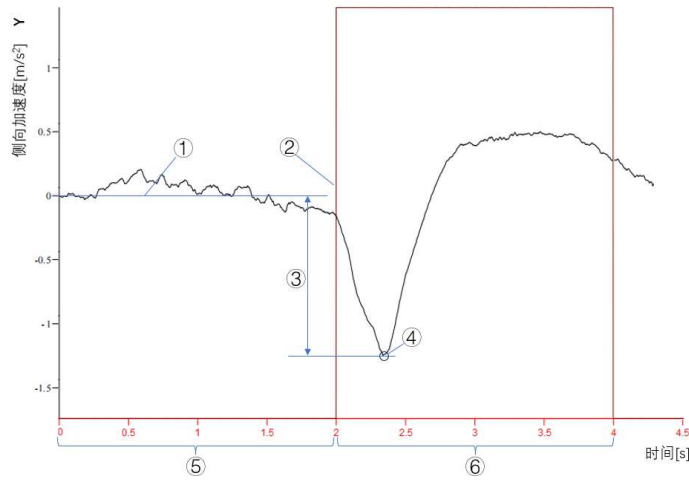
D.5.5.2 车辆动力学参数的时间历程曲线应至少记录 5 秒，在故障注入前至少应记录 3 秒，在故障注入后至少记录 2 秒。

D.5.5.3 宜使用 GB/T 40501-2021 中规定的滤波器对记录的车辆动力学信号进行滤波。

D.5.5.4 针对不同试验场景下的安全确认试验，对采集的转向相关安全度量参数按照 D.5.5.1~D.5.5.3 的规定进行数据处理，考察在故障注入前后各车辆运动学参数的变化。图 D.5 给出了直行行驶中侧向加速度扰动的确定示例，图 D.6 给出了转弯行驶中最大方向盘力矩的确定示例。

注：将故障注入前滤波的车辆动力学信号的平均值与故障注入后该信号的变化进行比较，例如：峰值或在一定时间

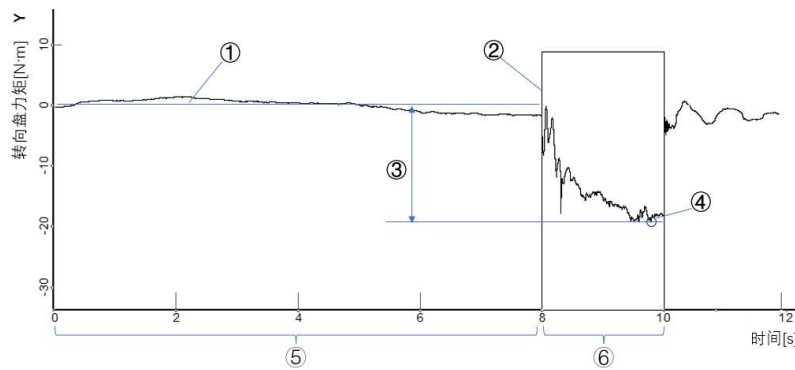
内的扰动。



标引序号说明：

- ①——故障注入前，滤波后的侧向加速度平均值，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）；
 - ②——故障注入时间点；
 - ③——侧向加速度的干扰；
 - ④——故障注入后，滤波后的侧向加速度的最大绝对值，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）；
 - ⑤——故障注入前的记录时间，单位为秒（s）；
 - ⑥——故障注入后的记录时间，单位为秒（s）；
- Y——侧向加速度（已滤波），单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）。

图D.5 车辆动力学参数评估（以直行行驶中的侧向加速度扰动）



标引序号说明：

- ①——故障注入前，滤波后的转向盘力矩平均值，单位为牛·米（ $N \cdot m$ ）；
 - ②——故障注入时间点；
 - ③——转向盘力矩的干扰；
 - ④——故障注入后，滤波后的转向盘力矩的最大绝对值，单位为牛·米（ $N \cdot m$ ）；
 - ⑤——故障注入前的记录时间，单位为秒（s）；
 - ⑥——故障注入后的记录时间X，单位为秒（s）；
- Y——转向盘力矩（已滤波），单位为牛·米（ $N \cdot m$ ）。

图D.6 车辆动力学参数评估（以转弯行驶中的方向盘力矩扰动为例）

D.5.6 安全确认试验接受准则

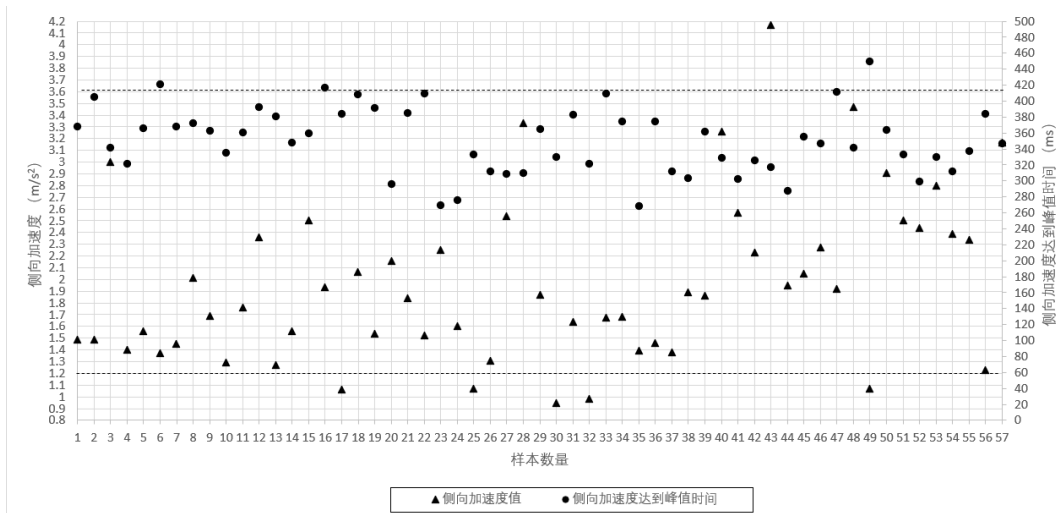
应根据6.2中规定的相关安全目标及安全度量指标，定义安全确认试验的通过/不通过准则。本附录提供了针对不同安全目标，以车辆动力学参数作为安全度量的指标参考值，见表D.5，图D.7和图D.8。如满足安全度量及其他接受准则（如有），则视为通过安全确认测试，如不满足则视为不通过。

注1：表D.5提供的安全度量指标参考值，是基于60名具有代表性的普通驾驶员通过一系列实车场地试验得出的，试验基于多款乘用车车型。

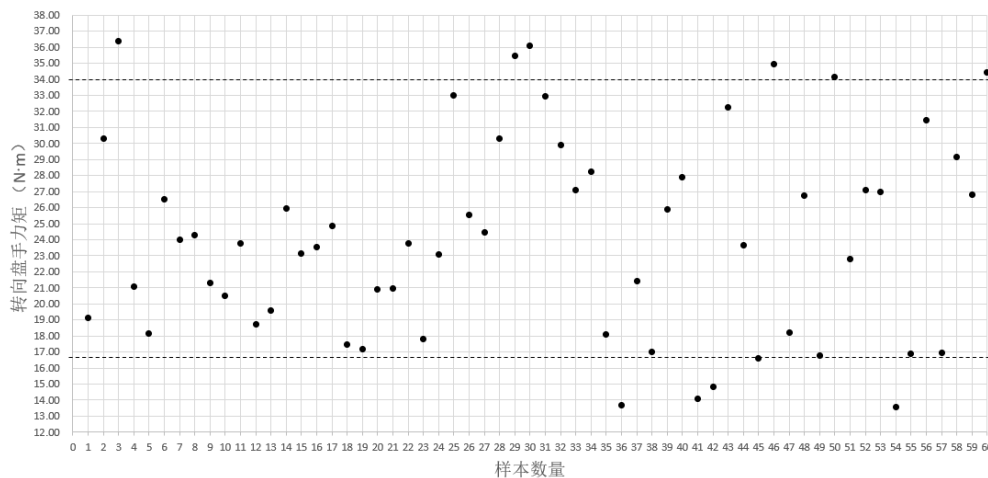
注2：针对不同车型，开展相同的测试并比较，以下可控性度量指标值主要受被测驾驶员、车辆宽度、车道宽度等因素决定。对于不同车辆配置参数的影响，如转向盘半径对手力和手力矩的影响折算，车辆宽度、车道宽度对车辆偏离车道的加速度变化率的影响，可进行折算转化。如有其他影响因素，可根据实际情况，进行合理的调整。

注3：图D.7的上、下两条水平线分别对应90%驾驶员可控的侧向加速度达到峰值的时间、侧向加速度变化的峰值。

注4：图D.8的上、下两条水平线分别对应90%驾驶员不能转动转向盘（无法完成预定转向动作，失去车辆侧向运动控制）的转向盘力矩、90%驾驶员可以控制车辆完成预定转向动作的转向盘力矩。



图D.7 直行场景可控性指标安全度量



图D.8 转弯场景可控性指标安全度量

表D.5 接受准则及安全度量参考值

序号	整车危害	安全目标	场景	接受准则	
				安全度量	其他接受准则
1	非预期的车辆侧向运动	车辆非预期的车辆侧向运动应满足非预期侧向运动的安全度量	直行	故障发生后410ms的车辆侧向加速度变化小于等于 1.2m/s^2	车辆不应偏离3.5m宽的试验通道
2	非预期的失去侧向运动控制	应确保驾驶员对车辆侧向运动的控制能力，相应转向盘手力应满足非预期失去转向控制度量	转弯	转向盘手力矩小于等于 $34\text{N}\cdot\text{m}$	车辆不应偏离3.5m宽的试验通道
3	转向沉重	转向手力满足转向沉重度量	转弯	转向盘手力矩小于等于 $16.7\text{N}\cdot\text{m}$	车辆不应偏离3.5m宽的试验通道

D.5.7 测试报告

测试报告中至少记录测试目的、测试方法及步骤、测试设备、测试环境、接受准则、测试结果等内容，模板见表D.6。

表D.6 安全确认测试记录表

内容	描述
试验方式（实车测试/台架或仿真测试）	
测试目的	
测试内容	
测试方法及步骤	
测试设备（名称、型号及编号、校准有效日期等）	
测试环境[硬件在环（HIL）测试、实车测试或其它]	
接受准则（安全度量、其他接受准则）	
测试结果	
试验照片	
样车参数表	

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/347164142063006115>