

T/ZJSAE

团 体 标 准

T/ZJSAE XXXX—2024

电动汽车分布式驱动控制系统 通用技术规范

Technical specification of distributed-drive control system for electric vehicles

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

浙江省汽车工程学会 发 布

目 次

前言..... II

1 范围..... 3

2 规范性引用文件..... 3

3 术语和定义..... 3

4 控制功能..... 4

5 技术要求..... 6

6 功能安全..... 8

7 试验方法..... 8

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。

本文件由浙江省新能源汽车标准化技术委员会提出。

本文件由浙江省汽车工程学会归口。

本文件负责起草单位：浙江大学

本文件参加起草单位：中汽研汽车检验中心（宁波）有限公司、极氪汽车（宁波杭州湾）有限公司、奇瑞汽车股份有限公司、浙江吉利远程新能源商用车集团有限公司、天津天海轮毂电机科技有限公司、杭州电子科技大学、浙江工业大学、浙江理工大学、江苏迈吉易威电动科技有限公司、江苏大学、卧龙电气驱动集团有限公司、浙江大学嘉兴研究院、中国电子科技集团公司第二十八研究所、江苏汇川联合动力系统有限公司、同济大学、联合汽车电子有限公司、浙江交通职业技术学院、龙泉产业创新研究院、杭州科技职业技术学院、杭州世宝汽车方向机有限公司。

本文件主要起草人：朱绍鹏、陈慧鹏、高健、胡巧声、李兵、李跃进、张荡、瞿元、韦圣兵、殷玉明、王严、王云冲、郭立书、李通、张旭、张敬堂、施刚、刘业、李勇、倪敬、杨林、周立新、熊树生、郑旭、汪国栋、李林林、曹健、王力、胡笕、王浩然、汪圆、陈国栋、应东平、张翀、葛正、吴志军、林鼎、全吴迪、熊陈福、张朝山、汪超、朱忠民、虞忠潮。

电动汽车分布式驱动控制系统通用技术规范

1 范围

本文件规定了电动汽车分布式驱动控制系统的术语和定义、控制功能、技术要求、功能安全、试验方法。
本文件适用于电动汽车分布式驱动控制系统。

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 6323 汽车操纵稳定性试验方法
- GB/T 18384 电动汽车安全要求
- GB/T 18385 电动汽车动力性能试验方法
- GB/T 18387 电动车辆的电磁场发射强度的限值和测量方法
- GB/T 18488.1-2015 电动汽车用驱动电机系统第1部分：技术条件
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 29307 电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法
- GB/T 34660 道路车辆电磁兼容性要求和试验方法
- T/CSAE 190.1 汽车用轮毂电动轮总成 术语
- T/CSAE 190.2 汽车用轮毂电动轮总成 技术条件
- T/CSAE 190.3 汽车用轮毂电动轮总成 试验方法
- T/CSAE 190.4 汽车用轮毂电动轮总成 可靠性试验方法
- T/ZJSAE 014-2023 分布式驱动线控底盘通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 18384、GB/T 19596、T/CSAE 190.1、T/CSAE 190.2、T/CSAE 190.3、T/ZJSAE 014-2023界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

分布式动力控制 distributed-power control

对多个独立驱动的动力系统进行动力控制分配。电动汽车分布式动力控制主要包括分布式驱动控制、分布式电制动控制，电动汽车分布式动力控制功能图见图1。

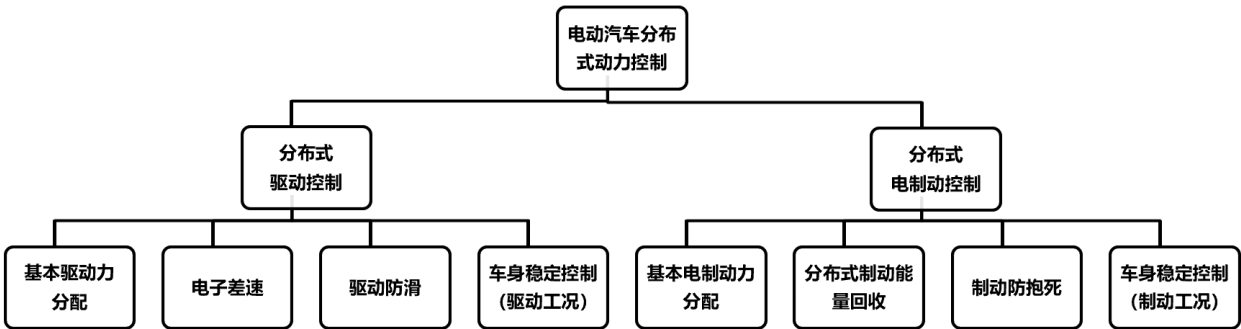


图1 电动汽车分布式动力控制功能图

3.2

分布式驱动控制 distributed-drive control

分布式驱动是针对采用单一动力输出的集中式驱动而言，指对多个独立驱动系统进行驱动力控制分配，可实现基本驱动力分配、电子差速、驱动防滑、车身稳定控制（驱动工况）等功能。可以前后不同车轴独立驱动，也可以同车轴左右独立驱动，具有多种分布式驱动形式。

3.3

分布式电制动控制 distributed-electric-brake control

对采用多个独立驱动电机系统的分布式驱动电动汽车，可实现基本电制动力分配、分布式制动能量回收、制动防抱死、车身稳定控制（制动工况）等功能。

3.4

驱动电机系统 drive motor system

驱动电机、驱动电机控制器及它们工作必须的辅助装置的组合。

[来源：GB/T 18488.1-2015 电动汽车用驱动电机系统第1部分：技术条件]

3.5

分布式驱动控制器 distributed-drive controller

也可称之为分布式动力控制器，集成了分布式驱动/制动控制程序，依据整车控制器（VCU或者动力域、智驾域等域控制器，取决于整车EE架构）指令，协调控制多个驱动电机转矩的装置。分布式驱动控制器可以集成到整车控制器中，或者集成到电机驱动控制器中。

3.6

分布式驱动控制系统 distributed-drive control system

驱动电机系统、分布式驱动控制器及它们工作必须的辅助装置的组合。

4 控制功能

分布式驱动控制器除具备分布式驱动控制功能，还应具备分布式电制动控制功能及冗余备份功能。

4.1 分布式驱动控制功能

分布式驱动控制功能主要包含基本驱动力分配、电子差速、驱动防滑、车身稳定控制（驱动工况）、节能控制、驱动力协调控制、驱动力容错控制等。

4.1.1 基本驱动力分配

在运行工况下，依据加速踏板信号等加速指令制定总驱动力，配合方向盘转向信号等指令把总驱动力分配给各驱动电机系统，实现加速、直行、辅助转向等基本驱动行驶功能。

4.1.2 电子差速

替代机械差速器，转弯等工况下通过线控方式，实时调节各驱动电机的转矩/转速，实现各驱动车轮差力差速，保证驱动车轮作纯滚动运动。

4.1.3 驱动防滑

监控每个驱动车轮滑转率，通过精准控制每个驱动电机的转矩，将滑转率控制在目标滑转率附近，防止驱动车轮打滑，保证车辆驱动行驶稳定性。

4.1.4 车身稳定控制（驱动工况）

监控车辆横摆角速度、质心侧偏角等整车稳定性状态参数，通过直接横摆力矩控制等稳定性控制算法，协调控制多个电机的转矩，提高车辆驱动行驶稳定性。

4.1.5 节能控制

根据驱动电机的效率特性和当前车辆行驶状态，调节各驱动电机的转矩，使得电机工作在高效区，实现分布式驱动控制系统综合效率最优。

4.1.6 驱动力协调控制

根据不同驱动工况要求，识别当前车辆行驶状态，采用动力性、稳定性、经济性等不同优化目标的控制算法协调控制多个电机的转矩，提高分布式驱动电动汽车整车性能。

4.1.7 驱动力容错控制

通过实时对驱动电机系统状态监测与故障诊断，识别发生故障的位置以及故障形式（包含驱动电机系统发生功率（转矩）降额的软性故障），合理控制调节未发生故障电机的转矩，保障驱动电机发生故障后分布式驱动电动汽车的行驶安全。针对某些不具重复性的瞬态故障如电机控制过流等，经诊断后可控制其故障复位从而确保整车驱动力无损失。

4.2 分布式电制动控制功能

分布式电制动控制功能主要包含基本电制动力分配、分布式制动能量回收、制动防抱死、电制动力协调控制、电制动力容错控制。

4.2.1 基本电制动分配

依据总制动力指令及电/机械复合制动控制策略，分配各驱动电机系统的电制动力，实现减速、直行倒车、转弯制动等基本制动行驶功能。

4.2.2 分布式制动能量回收

分布式驱动车辆制动或滑行时各驱动电机切换成制动发电模式，在制动强度、车速、电池SOC值、电机最大转矩等约束条件下，对制动产生的电能进行储存或利用，需要兼顾行驶稳定性和能量回收效率。

4.2.3 制动防抱死

监控每个车轮滑移率，通过调节每个车轮电机制动转矩与机械制动力矩共同实现ABS功能，保证车辆制动行驶稳定性。

4.2.4 车身稳定控制（制动工况）

监控车辆横摆角速度、质心侧偏角等整车稳定性状态参数，通过直接横摆力矩控制等稳定性控制算法，协调控制多个电机的制动转矩，提高车辆制动稳定性。

4.2.5 电制动力协调控制

根据不同制动工况要求，识别当前车辆行驶状态，采用稳定性、经济性等不同优化目标的控制算法协调控制多个电机的制动转矩，提高分布式驱动电动汽车整车性能。

4.2.6 电制动力容错控制

通过实时对驱动电机系统电制动状态监测与故障诊断，识别发生故障的位置以及电机故障形式（包含驱动电机系统发生发电功率/转矩降额的软性故障），合理控制调节未发生故障电机的电制动转矩，保障电机发生故障后分布式驱动电动汽车的制动安全。

4.3 冗余备份功能

分布式驱动控制系统可以作为制动系统及转向系统的冗余备份。

4.3.1 制动备份

通过实时故障监测诊断，识别机械制动系统失效时，协调控制分布式电制动力，形成机械制动备份，确保车辆实现安全停车。

4.3.2 转向备份

通过实时故障监测诊断，识别机械（或者线控）转向机构失效时，协调控制各驱动电机的转矩，形成转向备份，确保车辆实现安全停车。

5 技术要求

5.1 分布式驱动控制器硬件要求

控制器模块应具备浮点运算能力、逻辑运算能力、接口扩展能力，并应具有实时控制能力或实时操作系统。

硬件由标准化核心模块电路(主处理器、电源、内存、控制器局域网)和传感器采集等专用电路组成。标准化的核心模块电路可以移植到单片机中，平台硬件具有良好的可移植性和可扩展性，应具备通用的如CAN总线、串口、以太网等接口。满足功能ASIL-C/D的安全等级。

5.2 分布式驱动控制器软件要求

为实现电动汽车的分布式驱动控制功能，软件系统应具有独立运行的分布式驱动控制模块以及电机驱动控制权限，电动汽车应开放相应的接口及功能以供分布式驱动控制模块的二次开发调用。

分布式驱动控制软件需满足如下要求：

- (1) 实时准确运算分布式动力控制算法。
- (2) 接收及处理方向盘转角、车速等传感器数据及车辆状态数据。
- (3) 具备添加DI/DO、文件读写、停止报错等辅助功能。
- (4) 与整车控制器（VCU或者动力域、智驾域等域控制器，取决于整车EE架构）、电机驱动系统保持通讯，具有电机驱动控制权限。
- (5) 软件处理时间 $<10\text{ms}$ （或满足产品技术文件要求）。
- (6) 具备ASIL-C/D的功能安全等级要求。

控制软件模块应具备如下程序扩展功能：

- (1) 指令自定义添加功能：通过用户自定义方式定义系统中的新指令；在系统中注册用户自定义的新指令；使用所定义的新指令编写运动控制程序。
- (2) 自主添加功能：自动驾驶；失效处理；其他功能。

5.3 分布式驱动控制系统性能要求

5.3.1 起步及加减速性能要求

5.3.1.1 车辆起步、加速、减速等过程中，无明显抖动感。

5.3.1.2 高附路面起步加速，车辆保持滑移率在 15%~20%范围内。

5.3.1.3 低附路面起步加速，纵向加速度相邻波峰波谷间的差值不大于最大加速度的 30%，第一次打滑的时间小于 2s，后续加速打滑的时间小于 1s，横摆角速度小于 $3^\circ/\text{s}$ ，乘用车侧向位移偏差小于 0.5m，商用车侧向位移偏差小于 1m。

5.3.2 直线行驶性能要求

5.3.2.1 车辆不应出现跑偏现象，100m 直线行驶侧向位移偏差乘用车小于 0.5m，商用车小于 1m。

5.3.2.2 对接路面直线行驶，车辆保持滑移率在 15%~20%范围内，横摆角速度小于 $3^\circ/\text{s}$ ，切换路面的打滑控制时间小于 1s。

5.3.2.3 对开路面直线行驶，车辆保持滑移率在 15%~20%范围内，或在 1s 内收敛到滑移率 15%~20%范围内，期间车辆不应出现明显的轨迹跑偏，乘用车侧向位移偏差不大于 1m，商用车侧向位移偏差不大于 2m，转向角的修正幅度不大于 60° 。

5.3.3 坡道行驶性能要求

5.3.3.1 坡道高附着系数均一路面上坡行驶，车辆能够平稳起步，后溜距离不大于 0.5m，能够以不小于 10km/h 的速度越过坡道。

5.3.3.2 坡道低附着系数均一路面上坡行驶，车辆能够平稳起步，后溜距离不大于 0.5m，能够以不小于 10km/h 的速度越过坡道。

5.3.3.3 坡道对开路面上坡行驶，车辆能够平稳起步并保持稳定通过坡道，保持滑转率在 15%~20%范围内，起步期间低附侧车轮应该将滑移率控制在不大于 15%，同时车辆不应出现明显摆动和轨迹跑偏，转向角的修正幅度不大于 180° 。

5.3.3.4 坡道对开路面下坡行驶，车辆保持稳定通过坡道，保持滑转率在 15%~20%范围内，期间低附侧车轮应该将滑移率控制在不大于 15%，同时车辆不应出现明显摆动和轨迹跑偏，转向角的修正幅度不大于 180° 。

5.3.3.5 坡道对接路面上坡行驶，车辆保持稳定通过坡道，保持滑转率在 15%~20%范围内，期间低附路面车轮应该将滑移率控制在不大于 15%，同时车辆不应出现明显摆动和轨迹跑偏，转向角的修正幅度不大于 180° 。

5.3.3.6 坡道对接路面下坡行驶，车辆保持稳定通过坡道，保持滑转率在 15%~20%范围内，期间低附路面车轮应该将滑移率控制在不大于 15%，同时车辆不应出现明显摆动和轨迹跑偏，转向角的修正幅度不大于 180° 。

5.3.4 弯道行驶性能要求

5.3.4.1 车辆不应出现甩尾现象及过多的不足转向现象，同时应充分保证车辆的转向特性。

5.3.4.2 直角弯道行驶，车速 20km/h 稳定通过直角弯道。

5.3.4.3 最大转角行驶，车速 20km/h 最大转角稳定行驶。

5.3.4.4 弯道加速行驶，车辆在 0.3s 内对转向操作做出线性响应，不出现明显推头或甩尾情况，车轮不出现打滑空转的现象。

5.3.4.5 弯道加减速行驶，车辆应维持良好的轨迹跟随性能，横摆角速度的波动梯度不大于 $3^\circ/\text{s}$ 。

5.3.5 移线行驶性能要求

5.3.5.1 具有分布式驱动控制系统车辆的最高有效速度应高于不具有分布式驱动控制系统同车型车辆的最高有效速度。

5.3.5.2 具有分布式驱动控制系统车辆的车辆推头及甩尾程度，应小于不具有分布式驱动控制系统同车型车辆的推头及甩尾程度。

5.3.6 容错控制性能要求

5.3.6.1 具备驱动电机系统故障诊断及驱动力重构再分配的控制性能，失效控制响应时间小于 10ms。及时显示故障信息，当无法重构再分配驱动力时，分布式驱动控制车辆进入跛行故障行车模式，以最低速度行驶或立即停车，保证行驶安全。

5.3.6.2 单点容错性能要求，不应出现明显摆动和轨迹跑偏，乘用车侧向位移偏差不大于 1m，商用车侧向位移偏差不大于 2m，车辆冲击度不大于 10m/s^3 。

5.3.6.3 两点容错性能要求，不应出现明显摆动和轨迹跑偏，乘用车侧向位移偏差不大于 1m，商用车侧向位移偏差不大于 2m，车辆冲击度不大于 10m/s^3 。

5.3.6.4 多点容错性能要求，不应出现明显摆动和轨迹跑偏，乘用车侧向位移偏差不大于 1m，商用车侧向位移偏差不大于 2m，车辆冲击度不大于 10m/s^3 。

5.3.7 滑转率控制性能要求

5.3.7.1 路面附着系数不小于 0.8 的高附路面，单轮滑转率控制精度为 $\pm 2\%$ 。

5.3.7.2 路面附着系数不大于 0.5 的低附路面，单轮滑转率控制精度为 $\pm 5\%$ 。

5.3.8 响应时间及稳态误差

分布式驱动系统响应时间应不大于 30ms，电机转矩控制稳态误差为 $\pm 5\%$ 。

5.3.9 总转矩误差

各驱动电机转矩总值与整车总转矩需求误差为±5%。

5.4 分布式驱动控制系统 EMC

EMC应符合GB/T 34660和GB/T 18387相关规定。

6 功能安全

基于分布式驱动控制车辆使用场景，分析识别分布式驱动控制系统中因故障而引起的危害并对危害进行归类，定义相应的汽车安全完整性等级(ASIL)，制定防止危害事件发生或减轻危害程度的安全目标，以避免不合理的风险。

通过危害分析和风险评估确定的分布式驱动控制系统的安全目标及其属性，应至少包含表 1 所列的内容。

如果出现与表 1 所列的要求不一致的情况，应具备相应的证据来证明电机驱动系统不会因功能异常表现而导致不合理的整车危害风险。应至少包括如下证据：

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

表1 分布式驱动控制系统的安全目标及其属性

序号	安全目标	ASIL	安全状态
1	防止单电机无法输出驱动转矩	A	发出警示
2	防止单电机非预期的输出驱动转矩过大	C	发出警示，终止转矩输出
3	防止单电机转矩输出方向反向	C	发出警示，终止转矩输出
4	防止单电机非预期的输出驱动转矩	C	发出警示，终止转矩输出
5	防止单电机无法输出制动转矩	A	发出警示
6	防止单电机非预期的输出制动转矩过大	C	发出警示，终止转矩输出
7	防止单电机非预期的输出制动转矩	C	发出警示，终止转矩输出
8	防止单电机过热	B	发出警示，限制功率输出
9	防止单电机驱动控制器过热	B	发出警示，限制功率输出
10	防止多电机间非预期驱动转矩差过大	C	发出警示，终止转矩输出
11	防止多电机间非预期制动转矩差过大	C	发出警示，终止转矩输出

7 试验方法

分布式驱动控制车辆动力性试验，可参照GB/T 18385 电动汽车动力性能试验方法进行。

分布式驱动控制车辆操纵性试验，可参照GB/T 6323 汽车操纵稳定性试验方法进行。

分布式驱动控制车辆可靠性试验，可参照 GB/T 29307 电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法、T/CSAE 190.4 汽车用轮毂电动轮总成可靠性试验方法进行。

7.1 起步加速试验

7.1.1 高附路面起步加速试验

高附着系数均一路面(坡度不应超过2%,实验区间路段长度为500m~1000m,路面附着系数不小于0.8)加速行驶工况下,保持方向盘转角为零,车辆分别在20%、50%、80%、100%的加速踏板开度下,由静止加速到100km/h。

7.1.2 低附路面起步加速试验

低附着系数均一路面(坡度不应超过2%,实验区间路段长度为500m~1000m,路面附着系数不大于0.5)加速行驶工况下,保持方向盘转角为零,车辆分别在20%、50%、80%、100%的加速踏板开度下,由静止加速到60km/h。

7.2 直线行驶试验

7.2.1 对接路面直线行驶试验

高低附对接路面(坡度不应超过2%,实验区间路段长度为1000m,前部分路面附着系数不小于0.8,后部分路面附着系数不大于0.5)直线驱动行驶工况下,保持方向盘转角为零,车辆分别在20%、50%、80%、100%的不同加速踏板开度下,由静止加速到50~60km/h,并通过对接路面(高→低,低→高)。

7.2.2 对开路面直线行驶试验

高低附对开路面(坡度不应超过2%,实验区间路段长度为1000m,对开路面,一侧路面附着系数不小于0.8,另一侧路面附着系数不大于0.5)直线驱动行驶工况下,保持方向盘转角为零,车辆分别在20%、50%、80%、100%的不同加速踏板开度下,由静止加速到50~60km/h。

7.3 坡道行驶试验

7.3.1 坡道高附着系数均一路面上坡行驶

坡度不小于20%,实验区间路段长度为不小于20m,路面附着系数不小于0.8,车辆由静止开始加速。

7.3.2 坡道低附着系数均一路面上坡行驶

坡度不小于8%,实验区间路段长度为不小于20m,路面附着系数不大于0.5,车辆由静止开始加速。

7.3.3 坡道对开路面上坡行驶

坡度设定为20~30%,实验区间路段长度为50m,坡道为对开路面(一侧附着系数为不小于0.8,另一侧附着系数为不大于0.5),车辆行驶时保持方向盘转角为零。

7.3.4 坡道对开路面下坡行驶

坡度设定为20~30%,实验区间路段长度为50m,坡道为对开路面(一侧附着系数为不小于0.8,另一侧附着系数为不大于0.5),车辆行驶时保持方向盘转角为零。

7.3.5 坡道对接路面上坡行驶

坡度设定为20~30%,实验区间路段长度为100m,坡道为对接路面(前部分路面附着系数为不小于0.8,后部分路面附着系数为不大于0.5),车辆行驶时保持方向盘转角为零。

7.3.6 坡道对接路面下坡行驶

坡度设定为20~30%,实验区间路段长度为100m,坡道为对接路面(前部分路面附着系数为不小于0.8,后部分路面附着系数为不大于0.5),车辆行驶时保持方向盘转角为零。

7.4 弯道行驶试验

7.4.1 直角弯道行驶

车辆从静止起步加速到20km/h,匀速行驶2s。保持车速不变,车辆转过90度直角弯。松开加速踏板,均匀制动减速至静止。

7.4.2 最大转角行驶

车辆从静止起步加速到20km/h，匀速行驶2s。保持车速不变，方向盘转角设置为 540° ，行驶10s。松开加速踏板，均匀制动减速至静止。

7.4.3 弯道加速试验

不同车速下车辆高附路面约0.6g（低附路面约0.3g）侧向加速度，稳态绕圆，稳定方向盘转角，增加加速踏板力度，加速行驶。

7.4.4 弯道加减速试验

不同车速下车辆高附路面约0.6g（低附路面约0.3g）侧向加速度，稳态绕圆，稳定方向盘转角，以0.5—1Hz的频率增加减少加速踏板力度，加减速行驶。

7.5 移线行驶试验

按照《GB/T 40521.1-2021 乘用车紧急变线试验车道第一部分：双移线》测试要求，分别测试具有分布式驱动控制系统车辆和不具有分布式驱动控制系统同车型车辆的最高有效车速，车辆推头及甩尾程度。

7.6 容错控制试验

7.6.1 单点容错试验

高附平坦路面，车辆从静止急加速到60km/h，通过试验触发一个驱动电机单点失效，继续进行加速行驶2s后减速停车，记录车辆的动力输出情况和行驶稳定性情况。

7.6.2 两点容错试验

高附平坦路面，分布式四驱车辆从静止急加速到60km/h，通过试验触发两个对角驱动电机失效（交叉失效），继续进行加速行驶2s后减速停车，记录车辆的动力输出情况和行驶稳定性情况。

7.6.3 多点容错试验

高附平坦路面，分布式四驱车辆从静止急加速到60km/h，通过试验触发三个及以上驱动电机失效，继续进行加速行驶2s后减速停车，记录车辆的动力输出情况和行驶稳定性情况。
