
Q/HMA

海马汽车有限公司企业标准

Q/HMA3150-2018

代替Q/HMA 3150-2017

CAN 总线设计规范

2018-XX-XX 发布

2018-XX-XX 实施

海马汽车有限公司 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体架构	3
5 物理层设计规范	4
5.1 概述	4
5.2 功能模型	4
5.3 CAN 接口图	4
5.4 CAN 控制器	5
5.4.1 CAN 控制器符合的标准	5
5.4.2 位定时参数	5
5.5 CAN 收发器	6
5.6 晶振	6
5.7 物理介质	6
5.7.1 多个在线 ECU 配置	6
5.7.2 单个在线 ECU 配置	7
5.7.3 参数要求	8
5.8 终端电阻	8
5.9 CAN 扼流圈	9
5.10 EMC 电容	10
5.11 ESD 保护	10
5.12 基本硬件设计准则	11
5.13 基本要求	11
5.13.1 电源电压	11
5.13.1.1 工作电压要求	11
5.13.1.2 诊断电压要求	12
5.13.2 总线电压要求	12
5.13.2.1 CAN 总线电压波动	12
5.13.2.2 隐性状态 CAN 线电压	12
5.13.2.3 显性状态 CAN 线电压	12
5.13.2.4 总线空闲状态 CAN 线电压	13
5.13.3 位时间	13
5.13.4 信号斜率	13
5.13.5 容错管理	14
5.13.6 电源故障管理	14
5.13.7 高负载与错误帧概率	14
5.13.8 特性要求	15
6 数据链路层设计规范	16
6.1 帧类型要求	16
6.2 数据帧	16
6.3 帧打包	16
7 信息交互层设计规范	17
7.1 信号 (signal) 定义	17

7.1.1	信号命名	17
7.1.2	信号类型	17
7.1.3	信号发送类型	17
7.1.4	更新间隔	18
7.1.5	默认值	18
7.1.6	无效值	18
7.1.7	信号编码	18
7.2	消息/帧 (frame) 规范	18
7.2.1	消息/帧发送类型	18
7.2.2	消息/帧的接收	20
8	总线网络相关故障描述	20
8.1	Bus-off 故障	20
8.1.1	Bus-off 处理	21
8.1.2	Bus-off 后的超时监测	22
8.2	报文内容错误 (可选择)	22
8.3	报文计数或者 Checksum 校验错误 (可选择)	22
9	一致性测试要求	23

前 言

本标准按照 GB/T 1.1 给出的规则起草。

本部分（本标准）代替 Q/HMA 3150-2017 相比，主要有以下变化：

——符合缩写增加英文全称；

——更新总线电压要求；

——。

本标准由海马汽车有限公司研发本部智能互联部提出。

本标准由海马汽车有限公司研发本部技术管理室归口。

本标准起草单位：智能互联部互联技术室

本标准主要起草人：冯世杰

本标准批准人：朱宏林

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——Q/HMA 3150-2017；

——Q/HMA 3150-2015；

——Q/HMA 3150-2011；

——Q/HMA 3150-2010；

——Q/HMAC 103.266-237-2013；

——Q/HAG CP-004-2014；

——Q/HMAC 103.266-241-2013。

CAN 总线设计规范

1 范围

本标准规定了高速 CAN 总线物理层、数据链路层和信息交互层的设计规范。

本标准适用于本公司各车型整车 CAN 网络设计。

本标准不适用于启用了低速容错 CAN 网络设计。

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。

ISO 11898-1 道路车辆 控制器网络(CAN) 第1部分:数据链接层和物理信号

ISO 11898-2 道路车辆 控制器局域网(CAN) 第2部分:高速媒体访问单元

ISO 11898-5 道路车辆 控制器局域网(CAN) 第5部分:带低功率模式的高速媒介访问单元

ISO 11898-6 道路车辆 控制器局域网(CAN) 第6部分:带选择性唤醒功能的高速媒介访问单元

ISO 10605 道路车辆 静电放电产生的电磁骚扰测试方法

ISO 16845 道路车辆 控制器区域网络(CAN) 一致性测试计划

ISO/IEC 8802-3 信息技术-系统间的通信与信息交互-区域网络-特殊需求-第3部分:具有冲突检测的载波检波复合存取(CSMA/CD)的存取方法和物理层规范

SAE J2284-3 道路车辆 应用于500kbps的高速控制器局域网(CAN)

SAE J1939-11 商用车 控制系统局域网(CAN)通信协议 物理层-250kbps,屏蔽双绞线

SAE J1939-15 商用车 控制系统局域网(CAN)通信协议 物理层-250kbps,非屏蔽双绞线

BOSCH CAN 规范V2.0B CAN标准报文格式和扩展报文格式

3 术语和定义

ISO 11898界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

位速率

单位时间传输的位的个数,不依赖于位的表示形式。

3.2

位时间

一位的传输持续时间。

3.3

数据帧

在传输介质中,数据链路PDU规定位的排布和含义或者传递的序列中的位域。

3.4

节点

连接在通讯网络上,能按照某一通讯协议通过网络进行通讯的设备的集合。

3.5

总线电压

总线电压是CAN总线的CAN高或CAN低对各自CAN节点地的电压。

3.6

差分电压

CAN总线两条线的差分电压： $V_{diff}=V_{CAN_H}-V_{CAN_L}$ 。

3.7

物理层

一个CAN节点连接到总线上的电路(总线比较器和总线驱动器)，它由模拟电路和数字电路组成，还有CAN总线上的模拟信号和CAN节点内部的数字信号之间的接口组成。

注 1：连接到总线上的 CAN 节点总数受到总线上电器负载的限制。

3.8

符号缩写的含义

ACK	Acknowledge应答
Tbit	Time bit位时间
CAN	Controller Area Network控制器局域网
CMC	Common Mode Choke共模电感
CMX	Communication Matrix通信矩阵
DLC	Data Length Code数据长度编码
DTC	Diagnostic Trouble Code诊断故障代码
ECU	Electric Control Unit电子控制单元
EMC	Electromagnetic Compatibility电磁兼容性
ESD	Electrostatic Discharge静电放电
GND	Ground地
ID	Identification标识符
Kbps	Kilobits per second千比特每秒
LLC	Logical Link Control逻辑链路控制
LSB	Least Significant Byte最低有效字节或位
MAC	Media Access Control介质访问控制
MAU	Medium Attachment Unit媒介访问单元
MCU	Microcontroller Unit单片微型计算机
MDI	Medium Dependent Interface专用媒体接口
MSB	Most Significant Byte最高有效字节或位
OSI	Open System Interconnection开放系统间互联
PDU	Protocol Data Unit协议数据单元
PLS	Physical Layer Signaling物理层信令
PLL	Phase Locked Loop锁定相位的环路
PVC	Polyvinyl Chloride聚氯乙烯
PMA	Physical Medium Attachment物理媒介连接
SJW	Synchronization Jump Width同步跳转宽度
SIL	Signal Interaction Layer信号交互层
KL15	Terminal 15 (key 15) of the vehicle车辆中的15电
KL30	Terminal 30 (key 30) of the vehicle车辆中的30电

4 总体架构

开放系统互联（OSI）参考模型由国际标准化组织（ISO）于1984年提出，基于这个模型开发的各独立的开放式系统可以相互通讯。OSI参考模型将计算机网络分为7层，如图1所示。

各层定义的主要项目见表1。

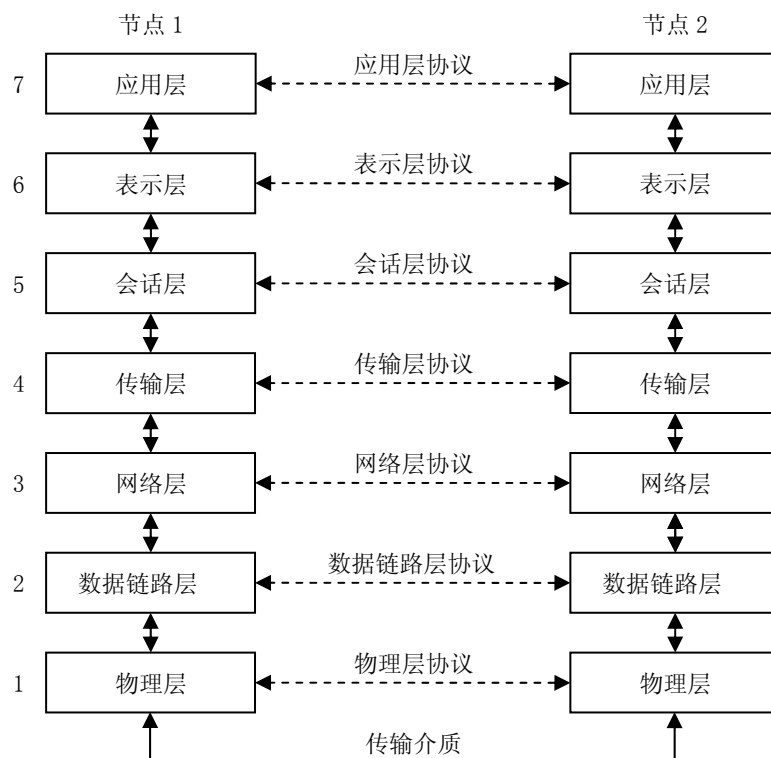


图 1 OSI 参考模型

表 1 OSI 参考模型各层定义

OSI 模型层		各层定义
软件控制	7 层：应用层	由实际应用程序提供可利用的服务
	6 层：表示层	进行数据表现形式的转换，如：文字设定、数据压缩、加密等的控制
	5 层：会话层	为建立会话式的通信，控制数据正确地接收和发送
	4 层：传输层	传输层是 CAN 协议的核心。它把接收到的报文提供给对象层，以及接收来自对象层的报文。传输层负责位定时及同步、报文分帧、仲裁、应答、错误检测和标定、故障界定。
	3 层：网络层	进行数据传送的路由选择或中继，如单元间的数据交换、地址管理
硬件控制	2 层：数据链路层	将物理层收到的信号组成有意义的数，提供传输错误控制等数据传输控制流程 如：访问的方法、数据的形式、通信方式、连接控制方式、同步方式、检错方式、应答方式、帧的构成
	1 层：物理层	规定了通信时使用的电缆、连接器等媒体、电气信号规格等，以实现设备间的信号传送

5 物理层设计规范

5.1 概述

物理层为连接总线与节点之间的电路，CAN总线上的节点总数受总线负载的限制。

作为推荐，常用的500Kbps信号通信速率的网络，应当支持最多16个节点和最少2个节点之间的信息传输，125 Kbps和250Kbps信号通信速率的网络，应当支持最多32个节点和最少2个节点之间的信息传输。

5.2 功能模型

根据ISO/IEC8802-3，物理层模型见图2所示。物理层分为三个部分：

- a) 物理信令层（PLS）包含的功能与位表示、定时和同步相关；
- b) 物理媒介附属（PMA）包含总线发送/接收功能电路的电器特性；
- c) 媒介依赖接口（MDI）包括物理媒介和与媒介访问单元（MAU）间的机械和电气接口。

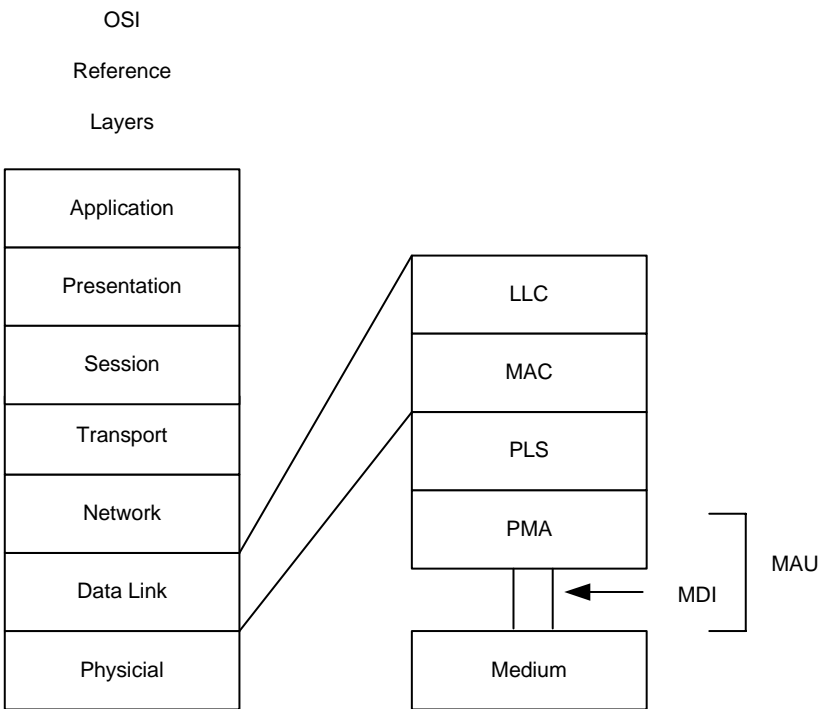


图 2 物理层功能模型

5.3 CAN 接口图

CAN通讯接口原理见图3，由于收发器的不同，部分收发器提供了用于连接分裂式终端的SPLIT引脚（如：NXPTJA1040、NXPTJA1041），部分收发器无此引脚（如TJA1050）。如果收发器有SPLIT引脚，应该连接该引脚（如图中虚线所示），如收发器无此引脚，可以不进行连接。

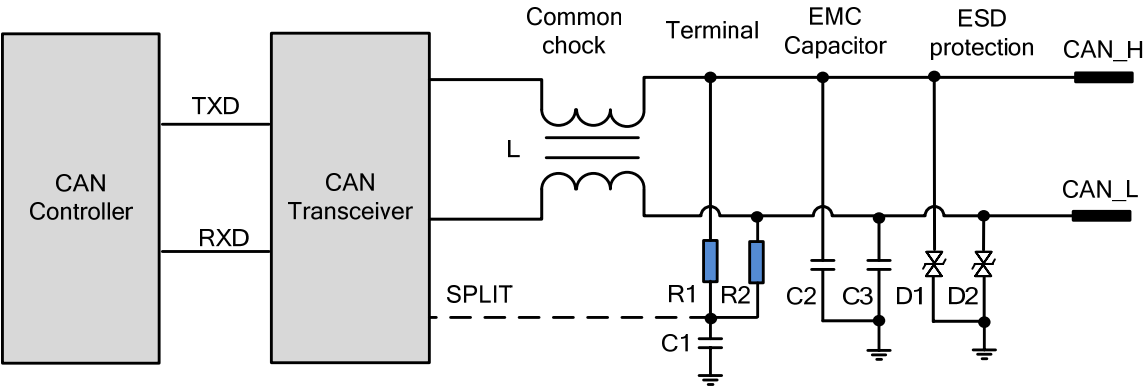


图 3 标准 CAN 接口

节点 ECU 电路板上有关 CAN 部分的原理图、及 BOM 表必须以清晰的格式提供给海马。电路图需包括以下细节，在同系列产品中沿用的组件需清楚标出。

- a) CAN 控制器
- b) CAN 收发器
- c) 保护电路
- d) 电源供电

5.4 CAN 控制器

5.4.1 CAN 控制器符合的标准

CAN 控制器必须符合 ISO11898 与 Bosch CAN 2.0B 标准，允许采用独立芯片或 MCU 芯片内部自带的 CAN 控制器模块。

5.4.2 位定时参数

表 2 给出了高速 500kbps 时，推荐的位定时参数，包括最大值、最小值以及标称值，表 3 给出了可选时间份额与同步跳转带宽。

表 2 位定时参数定义

参数	符号	最小值	标称值	最大值	单位	备注
位定时	TBit	1996	2000	2004	ns	fHSCAN=500kbps (±0.2%)
Tq 数量	NBT	10	16	22	Tq	
采样位置	tSP	75	81	86	%	
同步跳转宽度	SJW	2	3	3	Tq	
采样数量	NSP	-	1	-		

表 3 可选时间份额与同步跳转带宽

位时间份额数	同步跳转宽度	相位缓冲段2 最小值	相位缓冲段2 最大值	采样点
22	3	3	5	77%-86%
21	3	3	5	76%-86%
20	3	3	5	75%-85%
19	3	3	4	79%-84%

表 3 可选时间份额与同步跳转带宽（续）

位时间份额数	同步跳转宽度	相位缓冲段2 最小值	相位缓冲段2 最大值	采样点
18	3	3	4	78%-83%
17	3	3	4	76%-82%
16	3	3	3	81%
15	3	3	3	80%
14	3	3	3	79%
13	2	2	2	85%
12	2	2	2	83%
11	2	2	2	82%
10	2	2	2	80%

按照上述信息，并且得知模块所在总线通信速率，供应商可以计算出位定时参数，并提交给海马。

5.5 CAN 收发器

CAN 收发器须遵循 ISO11898-2 标准，仅可使用以下列出的收发器型号，其他型号必须通过 EMC 和功能的测试，并得到海马同意才可使用，收发器型号见表 4。

表 4 海马规定的 CAN 收发器型号

序号	厂家	型号
1	NXP	TJA 1040
2	NXP	TJA 1041A
3	NXP	TJA 1042
4	NXP	TJA 1043
5	NXP	TJA 1044
6	NXP	TJA 1046
7	NXP	TJA1050
8	Infineon	TLE 6250G
9	Infineon	TLE 6251G

5.6 晶振

晶振为 CAN 控制器的定时提供了参考。为了保证正确的 CAN 通信，晶振频率必须是 CAN 网络通信波特率的整倍数。晶振越精确，定时越稳定。

时钟发生器只允许使用石英晶振，不允许使用其它时钟发生器，如陶瓷晶振。

晶振在各种条件下的误差必须少于±0.2%，包括受到温度、老化的影响。

不推荐向 CAN 控制器提供由锁相环产生的时钟信号。如果 CAN 控制器由 PLL 时钟驱动，那么需要考虑 PLL 电路所造成的误差，晶振的精度需要相应的提高。

注 2：如果采用 PLL 电路，则在计算网络通信速率误差时，需要额外考虑 PLL 电路所造成的误差。例如：要求网络通信速率误差小于±0.2%，而选取晶振的误差是±0.1%，则 PLL 电路所引起的误差必须小于±0.1%。

5.7 物理介质

5.7.1 多个在线 ECU 配置

布局要求网络包含不止一个车载 ECU 和一个离线工具，具体见图 4 和表 5。

- a) 使用 PVC 双绞线（非屏蔽），两条线分别命名为 CAN_H 和 CAN_L；
- b) 参考 SAE J2284-3, 线长要求见图 4 和表 5, 支线必须尽可能短；诊断节点直接与总线相连，端口长度应该尽可能短，最长为 1m。从连接器到诊断仪的连线也应尽可能短，最大不超过 5m；
- c) CAN 线在布线时尽量保持走线顺畅，避免出现 CAN 线回折现象。每条支线与主线相连时，CAN 高和 CAN 低线的连接点（打卡点），尽量保持在主线的同一位置上。原则上各节点之间的节点距离 D 不允许等长。应尽量远离动力线以及信号线，且尽量避免平行走线；
- d) 不要在干扰源附近布置 CAN 总线，如果无法避免，应使用屏蔽线。当使用屏蔽电缆时，屏蔽层在某处连接到地，屏蔽线用 CAN_SHLD 表示。

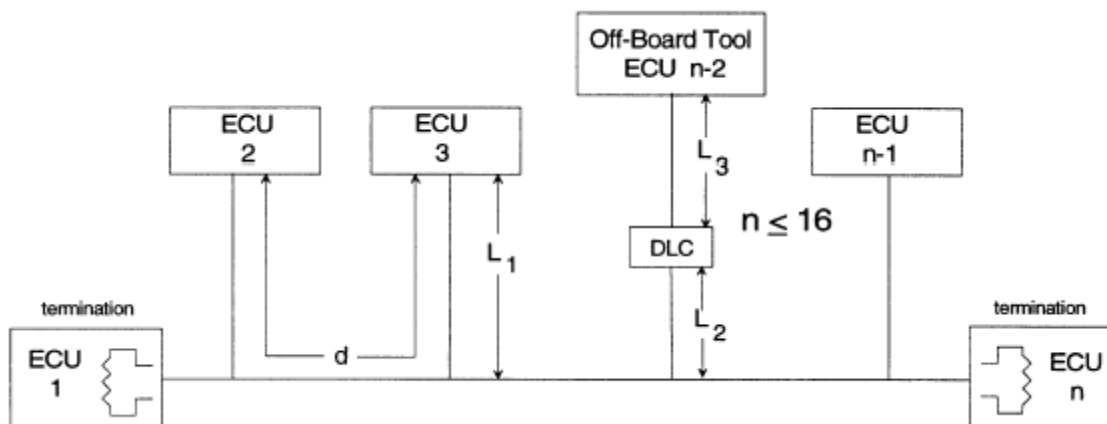


图 4 多个在线 ECU 架构示意图

表 5 传输介质长度要求

参数	符号	数值	
		最小值	最大值
总线长度 (m)	L	0.1	30
支线长度 (m)	L_1	0	1
车内支线长度 (m)	L_2	0	1
车外支线长度 (m)	L_3	0	5
节点距离 (m)	D	0.1	30

注 3: 如果节点支线长度超过 0.6m, 则该节点需要接支线终端电阻, 同一网段中此类节点数量不能超过 4 个。

为了避免电缆反射信号干扰, CAN 网络的节点应尽量靠近干线。实际应用中应该尽可能使用短支线与总线连接, 为了减少驻波, 网络里的 ECU 不应放置相等的距离并且线缆尾部不应全为相同的长度。终端电阻可临近放置于或者放置于距离最长的两个在线 ECU 内。非终端 ECU 可选连接。

5.7.2 单个在线 ECU 配置

布局要求网络中包含一个在线 ECU 和一个离线 ECU (例如, 一个 OBD 检测工具) 时, 具体见图 5 和表 6 中所示。

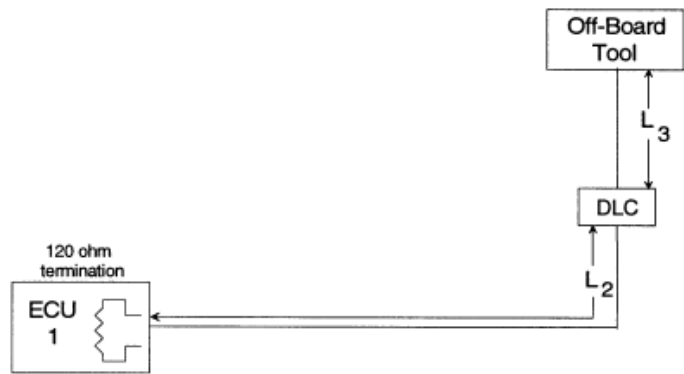


图 5 单个在线 ECU 架构示意图

表 6 传输介质长度要求

参数	符号	数值		
		最小	正常	最大
车载数据传输连接器电缆长度（m）	L2	0.1		5
离线工具数据传输连接器电缆长度（m）	L3	0.1		5

另外，CAN 总线上任意一个在线控制器应安装 120 Ω 终端电阻。

5.7.3 参数要求

传输介质导线参数要求见表 7。

表 7 传输介质参数要求

参数	最小值	正常	最大值	单位
阻抗	108	120	130	Ω
单位线长电阻	—	—	50	m Ω /m
单位线长延迟	—	—	5.5	ns/m
双绞率	33	—	50	个/m
线径	—	0.5	—	mm ²

5.8 终端电阻

ISO 11898-2 标准给 CAN 总线提供的终端电阻是 60 欧姆，所以整车 CAN 总线上最远的两个节点中必须各有一个终端电阻（在 CAN_L 和 CAN_H 信号之间）。在海马整车 CAN 网络中，都应在干线的两端安装终端电阻，这类终端电阻称为干线终端电阻。如果某 ECU 通过一段比较长的支线接入网络，为了防止信号反射，在收发器的驱动能力足够的前提下，可以在该 ECU 内部安装分裂式终端电阻，这类终端电阻称为支线终端电阻。同一网络中，采用支线终端电阻的节点不允许超过 4 个。

注 4：某一控制器是否安装终端电阻有海马汽车决定，但是所有 ECU 的 PCB 板上必须预留终端电阻的安装位置。

干线终端电阻值参数见表 8。

表 8 干线终端 ECU 的终端电阻参数

终端电阻	单位	最小值	典型值	最大值
R	Ω	110	120	130
R1/R2	Ω	55	60	65
R1/R2耗散功率	mW	220	250	400

支线终端电阻值参数见表 9。

表 9 支线终端 ECU 的终端电阻参数

终端电阻	单位	最小值	典型值	最大值
R	Ω	1092	1240	1252
R1/R2	Ω	546	620	626
R1/R2耗散功率	mW	220	220	—

新开发节点终端电阻排布方式使用方案 A，方案 B 只允许在现有的节点上使用，分裂终端的 R1 和 R2 的电阻值相同并且容差不能超过 $\pm 1\%$ 。

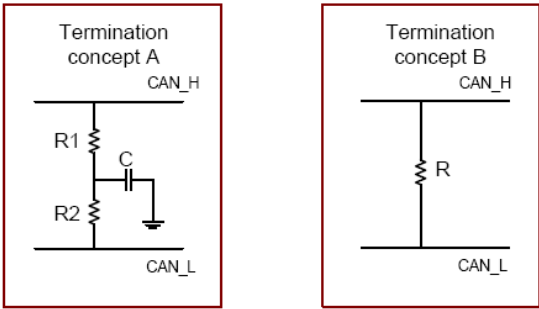


图 6 ECU 内部终端电阻排布方案

干线终端节点、支线终端节点和非终端节点 ECU 内部终端电阻典型参数见表 10。

表 10 节点 ECU 的终端电阻典型参数

方案	方案A			方案B
	R1	R2	C	R
干线终端节点	60 Ω	60 Ω	4.7nF	120 Ω
支线终端节点	620 Ω	620 Ω	4.7nF	1240 Ω
非终端节点	—	—	4.7nF	—

5.9 CAN 扼流圈

为提高 EMC 的可靠性和限制信号噪声,要求 CAN 网络上的每个节点要用非屏蔽双绞线连接一个共模电感（CAN 线圈）所用的 CAN 线圈的电感值： $L=51\mu\text{H}$ 。

在节点 PCB 设计中，必须考虑这个共模电感和预留 2 个零欧姆电阻，见图 7。

如果 ECU 满足海马汽车的 EMC 实验要求，可以不安装共模电感，但必须得到海马汽车的认可。如果没有安装共模电感，则其位置也应该保留，可通过 2 个零欧姆电阻来实现旁路。

推荐的扼流圈型号见表 11。

表 11 CAN 扼流圈型号

序号	厂家	型号
1	EPCOS	B82789-C0513-N001
2	EPCOS	B82789-C0513-N002
3	EPCOS	B82793-S0513-N201
4	TDK	ACT 45B-510-2P

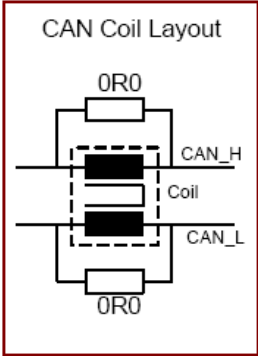


图 7 共模扼流线圈

5.10 EMC 电容

为了改善 EMC 特性，可以安装 EMC 电容。
EMC 电容为选装器件，供应商在设计 PCB 需要预留该器件的安装位置。
要求 C2 和 C3 的数值相同，并且容差不超过 10%，其电容参数见表 12。

表 12 EMC 电容参数

参数	最小值	标称值	最大值	单位
C2/C3	0	47	100	pF

5.11 ESD 保护

所有的节点须实现 ESD/过压保护。
对于 PCB 板，须考虑 ESD/过压保护齐纳二极管。ESD 保护元件要有 30pF 的最大电容。若控制器能满足下表 14 中静电保护要求，可以不安装 ESD 保护器件，但应预留 D1 和 D2（如图 3 所示）的安装位置。
推荐的齐纳二极管见表 13。

表 13 齐纳二极管型号

厂商	产品零部件号
ON 半导体	MMBZ27VAL
ON 半导体	MMBZ27VCLT1

ESD测试须符合ISO10605：2001要求，且要用到人体模型，最大测试电压见表14。必须确保，经过测试（在它允许的偏差范围内所做的测试）的ECU须有以下特征：

- a) 被测试的ECU没有发送错误帧；
- b) 如果被测试的ECU具有诊断功能，则在测试过程中，没有错误记录被保存在错误存储区中；
- c) 推荐任一车身模块静电释放保护电压大于等于16kV。

表 14 静电放电测试电压

项目	最大测试电压
接触放电	± 8kV
空气放电	± 15kV

5.12 基本硬件设计准则

设计PCB布局时，请注意以下规则：

- a) 确保CAN驱动IC和CAN扼流圈放置的位置，与分配给它们的控制模块的引脚尽可能的靠近；
- b) 在ECU-PCB板上，在CAN线和别的信号线间要有去耦装置；
- c) 每个ECU都须放置总线终端，终端的值会在ECU要求规范中被定义；
- d) 根据规则设计布局以减少EMC（电磁兼容）的影响（接地区域，短线，接地线平行于信号线）；
- e) 可选的ESD保护单元须放置在与ECU接插件较近处；
- f) 在PCB板上CAN信号线的线路必须是匀称的；
- g) 经过控制模块（较好的链路设计）的循环CAN线路，要求在控制模块上要有双倍数量的pin脚和连接点；
- h) 除非电磁兼容性测试结果指示0Ω的电阻可以使用，否则初始要求要包含有感应线圈；
- i) 当电压为50V时，电容要有10%的容差；
- j) 在CANH/L线上，选择陶瓷电容以改善EMC；
- k) 收发器的V_{cc}引脚须连接一个100nF的电容；
- l) 信号线CAN_H和CAN_L在电路板上具有相同长度且尽量短，建议不超过10cm；
- m) 信号线须以最小距离平行布置，但不能有90度角，应该使用两个135度角；
- n) 对应信号线，不应使用过孔，不可相互交叉；
- o) 总线收发器芯片和连接器之间不应该放置其他集成芯片；
- p) CAN控制器和收发器之间的RxD线、TxD线要短，且不可相互交叉；
- q) 在PCB印制过程中，应避免TxD与V_{cc}之间短路、RxD与GND之间短路、RxD与TxD短路。

5.13 基本要求

5.13.1 电源电压

5.13.1.1 工作电压要求

1. 电压

表 15 CAN 通信正常电压范围

电压范围名称	供电电压		备注
	最小值 (V)	最大值 (V)	
vLow	-	6.5	不需要 CAN 通信； 如果 ECU 能正常通信，允许 CAN 通信。
vActiveEngineStart	6.5	8	发动机启动相关ECU能正确通信 ¹ ； 其他ECU不需要CAN通信； 如果ECU能正常通信，允许CAN通信。
vActive	8	18	所有ECU能正确的通信。
vHigh	18	-	不需要CAN通信； 如果ECU能正常通信，允许CAN通信。

在规定的过电压和欠电压条件下，为确保汽车关键部件的正常通信，要求不能有 ECU 干扰或中断总

线通信,即使电源电压超出了正常工作电压范围。这可能要求在一定电压条件下,收发器及其它电子器件暂时、完全停用。

如果本地 ECU 供电电压降低到特定数值以下或供电电压增加到特定数值以上的时间少于 100ms,ECU 应忽视电压变化。特定的数值为: 启动相关 ECU 的低电压 vLow、非启动相关 ECU 的低电压 vActive 最小值和所有 ECU 的高电压定义为 vHigh。例如: 非启动相关的 ECU 供电电压降到 vActive 最小值时,应在持续低于 vActive 最小值的时间超过 100ms 之后才允许停止 CAN 通信,当 ECU 从低电压恢复到 vActive 最小值时,应在持续高于 vActive 最小值的时间超过 100ms 之后才恢复 CAN 通信。其他两个特定数值类似。

允许供应商采用其它的防抖策略,但需要与海马汽车进行确认。

5.13.1.2 诊断电压要求

当电源电压 9V 到 16V 之间,要求节点能够记录总线故障码,其它电压不能记录总线故障码。若 ECU 在某些情况下对电压有特殊要求,ECU 供应商须对电压要求做清晰的描述,且必须得到海马工程师认可。

5.13.2 总线电压要求

5.13.2.1 CAN 总线电压波动

- a) $U_{min} \geq 80\%U$
- b) $U_{max} \leq 120\%U$

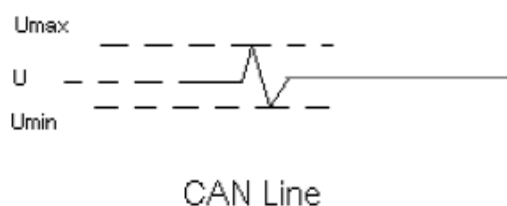


图 8 线电压波动范围

注 5: U: CAN 线电压

U_{max} : 最大的波动 CAN 线电压

U_{min} : 最小的波动 CAN 线电压

5.13.2.2 隐性状态 CAN 线电压

隐形状状态的 CAN 线电压具体要求:

- a) $2V < V_{CAN_H} < 3V$, 标称值 2.5V
- b) $2V < V_{CAN_L} < 3V$, 标称值 2.5V
- c) $-500mV < V_{diff} < 50mV$, 标称值 0V
- d) $4.2V < V_{com} < 5.8V$, 标称值 5V

5.13.2.3 显性状态 CAN 线电压

显形状状态的 CAN 线电压具体要求:

- a) $2.75V < V_{CAN_H} < 4.5V$, 标称值 3.5V
- b) $0.5V < V_{CAN_L} < 2.25V$, 标称值 1.5V
- c) $1.5V < V_{diff} < 3V$, 标称值 2V
- d) $4.2V < V_{com} < 5.8V$, 标称值 5V

5.13.2.4 总线空闲状态 CAN 线电压

总线空闲状态的 CAN 线电压具体要求:

- a) $2V < V_{CAN_H} < 3V$, 标称值 2.5V
- b) $2V < V_{CAN_L} < 3V$, 标称值 2.5V

5.13.3 位时间

CAN 总线位时间的具体要求见图 9。

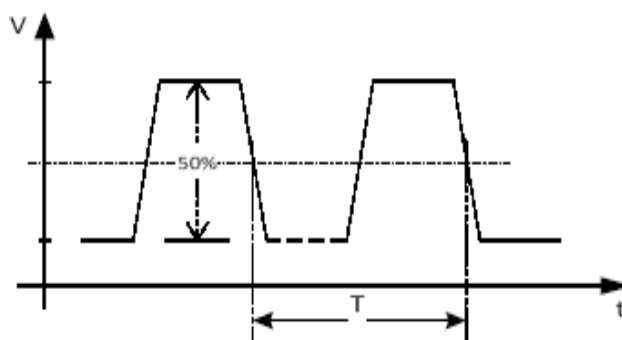


图 9 位时间相关参数

注 6: T: 要求必须包含且只包含两个上升沿或两个下降沿

位时间 (T_{bit}) = T/T 内的位个数

位时间具体要求: T_{bit} = 1/f ± 2%

f-总线波特率。

5.13.4 信号斜率

CAN 总线信号斜率的具体要求见图 10。

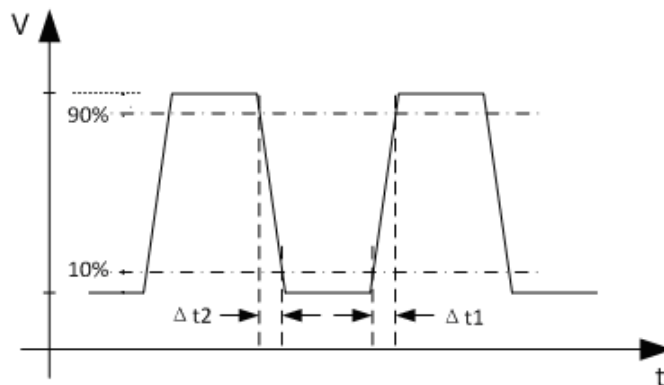


图 10 信号斜率相关参数

注 7: 上升斜率 (S_r) = (U_{90%} - U_{10%}) / Δt₁

下降斜率 (S_f) = (U_{90%} - U_{10%}) / Δt₂

5.13.4.1 CAN_H 斜率

- a) CAN_H 上升沿斜率要求 $5V/\mu S < S_r < 50V/\mu S$
- b) CAN_H 下降沿斜率要求 $2.5V/\mu S < S_f < 50V/\mu S$

5.13.4.2 CAN_L 斜率

- a) CAN_L 上升沿斜率要求 $2.5V/\mu S < S_r < 50V/\mu S$
- b) CAN_L 下降沿斜率要求 $5V/\mu S < S_f < 50V/\mu S$

2. 故障

5.13.5 容错管理

表 16 CAN 总线的故障模式

故障序号	故障类型
1	CAN_H断开
2	CAN_L断开
3	CAN_H 和CAN_L同时中断
4	CAN_L与蓄电池电源短路
5	CAN_H与地短路
6	CAN_H与CAN_L短路
7	CAN_L与地短路
8	CAN_H与蓄电池电源短路
9	断开与非终端节点的连接
10	断开与终端节点的连接

- 超时错误
- 超时错误
- 超时错误
- busoff
- busoff
- busoff

如表16所示，需对总线上可能出现的故障进行测试。

- a) 当故障序号为1到6的故障发生时，要求节点的通讯停止，当故障清除时，要求节点在500ms内自动恢复正常通信；
- b) 当故障序号为7到10的故障发生时，要求节点能够正常通信，当故障清除时，要求节点依然能够正常通讯。

注 8：对于本地故障，ECU 任何内部错误不能影响总线通信；ECU 功能不受总线高负载率影响，且不能把 ECU 置于不安全状态；总线错误帧不能影响 ECU 内部功能，不能把 ECU 置于不安全状态。

5.13.6 电源故障管理

表 17 供电电源的故障模式

故障序号	故障类型
1	待测节点电源中断
2	待测节点地线中断
3	非待测节点电源中断
4	非待测节点地线中断

如表16所示，需对总线上各节点的供电电源可能出现的故障进行测试。

- a) 当故障1-2发生时，要求节点的通讯停止，当故障清除时，要求节点恢复正常通讯；
- b) 当故障3-4发生时，要求维持正常通信。

5.13.7 高负载与错误帧概率

- a) 总线负载指网络在负载率 $\geq 75\%$ 的情况下正常通讯，无帧丢失，无错误帧；
- b) 在正常通讯条件下，错误帧概率指总线连续通讯24h且无错误帧。

5.13.8 特性要求

5.13.8.1 上电/掉电

某个ECU上电/掉电时，不能产生错误帧，不能影响到其他ECU的正常通信。

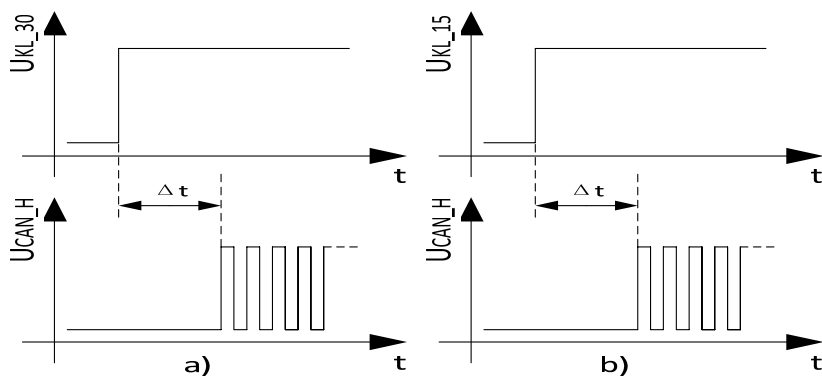
5.13.8.2 地偏移

在正常的电压范围内，当地偏移电压在 $\pm 2V$ 范围内发生偏移时，ECU能保持通信。

5.13.8.3 复位

一个连接在CAN总线上的ECU，若它在复位或上电后仍处在复位状态，则它不能影响总线上其它节点的总线通讯。

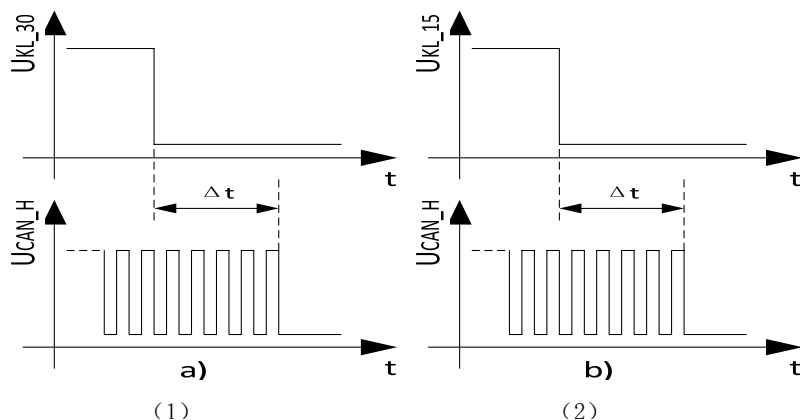
5.13.8.4 网络启动



(1) 图 11 ECU 上电时的报文 (2)

- 节点须在上电500ms内（即 $\Delta t \leq 500ms$ ）完成初始化并发送应用报文，见图11；
- 在500ms（即 $\Delta t \leq 500ms$ ）内，节点不能记录总线诊断故障码（若故障存在），须在上电500ms后才开始记录报文丢失诊断故障码（若故障存在）；
- 对于参与OSEK网络管理的节点，当处于休眠状态的节点被IO接口或者CAN报文唤醒时，须于100ms内完成初始化并发送网络管理报文“Alive”帧，至于应用报文的发送时间，需针对不同项目中的不同节点进行定义。

5.13.8.5 网络关闭



(1) 图 12 ECU 掉电时的报文波形 (2)

图 12 ECU 掉电时的报文波形

- a) ECU掉电的200ms内 ($\Delta t \leq 200\text{ms}$) 结束通信，见图12;
- b) 在休眠条件满足下，所有节点进入休眠模式所需要的时间 $t \leq 10\text{s}$ 。特定情况下，延迟单独定义，需要海马认可。

5.13.8.6 帧超时或节点丢失

接收节点对接收报文进行超时监控，在规定时间内（表18）未接收到某报文，认定该报文超时，与之对应的信号值将被置为默认值或无效值，同时记录诊断故障码。特定情况下，需另外定义，需得到海马的认可。

表 18 节点超时时间

参数	最小值 (ms)	标称值 (ms)	最大值 (ms)
tTimeout	100	10 *Cycle	5000

5.13.8.7 接插件

接插件CAN引脚的接触电阻不能大于50mΩ。

6 数据链路层设计规范

数据链路层用于在发送方将报文封装成数据帧；在接收方从数据帧中提取报文。

数据链路层的任务是由 CAN 控制器硬件完成的，它在硬件上实现了 CAN 协议并且以 CAN 驱动的方式提供了与其它通信层 CAN 协议的接口。

就总线接口而言，CAN 协议标准化和一致性测试确保不同半导体供应商之间的兼容性。

CAN 控制器和 MCU 之间的内部接口是由 CAN 驱动程序来处理。

6.1 帧类型要求

海马CAN网络采用具有11位标识符的标准数据帧。

6.2 数据帧

只有遵循ISO11898-1标准的标准数据帧才可用于CAN通信；如果收到无用但却遵循ISO11898-1标准的标准数据帧，应被忽略且不导致错误帧。

每个帧只能由一个节点发送但可由多个节点接收，ECU接收器应当过滤当前节点不需接收的数据帧。

数据帧的数据长度代码（DLC）须根据通讯矩阵来设定。如果DLC不正确，这个帧会被忽略。

扩展格式的数据帧的接收会被忽略，且不会对ECU产生影响。

6.3 帧打包

排序

每个数据场包括 0 到 7 个字节，每字节中位索引为位“0~7”。位“7”是最高有效位(msb)，位“0”是最低有效位(lsb)。信号采用 big endian（Motorola Format LSB）排序方式，当一个信号的数据长度超过 1 个字节(8 位)或者数据长度不超过一个字节但是采用跨字节方式实现时，该信号的高位(MSB)将被放在低字节（MSB）的高位，信号的低位（LSB）将被放在高字节（LSB）的低位。这样，信号的起始位就是高字节的低位。

示例：发动机转速是一个两字节信号值为0x1234，分配在帧的字节2到字节3中，所以发动机转速信号的起始位置是24，0x12在字节2中，0x34放置在字节3。发送顺序是23，22，21，……16，31，30，29……24。

表 19 信号发动机速度的起始位置

位	7	6	5	4	3	2	1	0
字节 0	7	6	5	4	3	2	1	0
字节 1	15	14	13	12	11	10	9	8
字节 2	23			发动机转速				16
字节 3	31							24
字节 4	39	38	37	36	35	34	33	32
字节 5	47	46	45	44	43	42	41	40
字节 6	55	54	53	52	51	50	49	48
字节 7	63	62	61	60	59	58	57	56

无信号位, 对于标准数据帧报文的数据场, 除去有效信号外, 无信号位一律采用0hex表示。

7 信息交互层设计规范

信号交互层（SIL）是应用层与CAN驱动之间的抽象层。它为其上层提供信号接口。SIL为网络（帧级）到本地ECU（信号级）之间提供转换接口, 反之亦然。信号有自己的属性, 其属性影响包含该信号的报文的传输。

7.1 信号（signal）定义

信号是在网络上传输并被应用程序应用的对象, 强调唯一性, 海马项目信号的以下属性须被定义并与第一供应商共同确认。

7.1.1 信号命名

基于项目协议中的通讯矩阵对信号命名。命名参考见Q/HMA 1023。

7.1.2 信号类型

无符号型: 1-32位长度;

有符号型: 1-32位长度;

布尔类型: 1位长度, 显示“TRUE”或“FALSE”;

字符类型: 1-8字节长度。

7.1.3 信号发送类型

事件型: 事件发生时进行信号发送;

周期性: 信号周期性发送;

周期事件型: 事件未发生时, 以周期T发送, 事件发生时, 报文以周期T1发送n次, 之后恢复周期T发送;

其他: 其它特殊的发送类型。

7.1.4 更新间隔

更新间隔显示发送节点信号更新的频率或是接收节点对信号的需求频率。
对于周期信号，捕获的是信号的周期。

7.1.5 默认值

对于发送节点，在应用程序更新信号值前将发送这个默认值（初始值）。
对于接收节点，在规定的时间内，接收方没有接收到相应的报文，应用程序将使用这个默认值。

7.1.6 无效值

对于发送节点来说，当发送节点发现了信号错误或信号不可用，则发送这个信号的无效值。

7.1.7 信号编码

编码定义是对信号的一个补充说明，主要包括编码的名称、位长、十六进制范围、物理范围、精度、偏移量、单位等相关信息。具有相同特征的信号可以给出一个共同的编码定义，

物理值编码采用式1：

$$\text{物理值} = (\text{十六进制值} \rightarrow \text{十进制值}) \times \text{精度} + \text{偏移量} \dots\dots\dots (1)$$

7.2 消息/帧（frame）规范

7.2.1 消息/帧发送类型

帧发送的类型有周期型发送、随机型发送和事件周期型发送。CAN驱动程序可使用终端或轮询模式来发送帧。

7.2.2.1 周期型发送

周期报文按周期时间 T 循环发送，如图 13 所示。

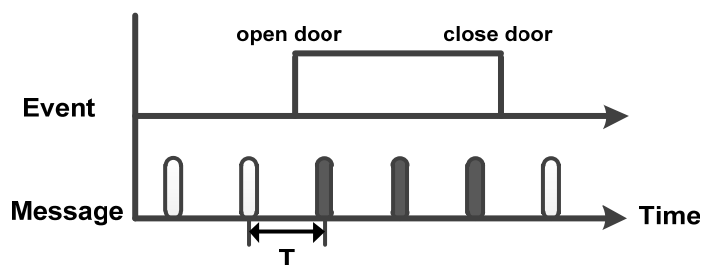


图 13 周期型发送

在该模式下，帧按照周期的原则进行发送，无论数据是否有更新。

周期性报文的发送周期偏差不可大于±10%，当周期时间小于20ms时，周期偏差不可大于20%，对于含重要信息的报文，周期容差可在项目中进行具体规定。

注 8：最大延时是从信号更新直到帧发送，即一个发送周期。

7.2.2.2 事件型发送

事件报文的发送取决于事件是否触发，如图 14 所示。

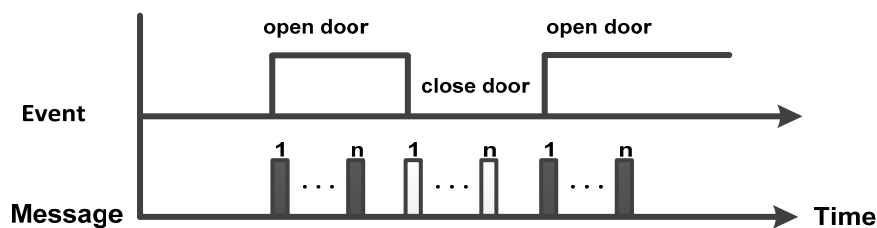


图 14 事件型报文

为了避免报文丢失，报文应该在事件发生后重复发送 $n_{\text{RepetitionE}}$ 次。重复发送的时间间隔为 $t_{\text{RepetitionE}}$ ，见表 20。

表 20 事件发送类型的参数推荐

参数	符号	标称值	单位	备注
报文重复发送次数	$n_{\text{RepetitionE}}$	—		在 CAN 通信矩阵中定义，必须得到整车厂确认
报文间隔时间	$t_{\text{RepetitionE}}$	—	ms	在 CAN 通信矩阵中定义，必须得到整车厂确认

在该模式下，帧内一个或多个信号更新立即发送。但一般会定义一个“最小发送间隔”，避免出现随机信号高频率发送，导致总线高负载。

7.2.2.3 事件周期型发送

在该模式下，帧内信号状态没有发生变化时，帧按固定周期进行发送；当帧内信号状态改变，帧按照特定周期或立即发送，在状态改变后再以固定周期进行发送。

事件报文与周期报文发送的时间间隔不应小于 20ms。

如果事件发生在周期报文发送之后 20ms 内，则事件报文延迟到周期报文发送 20ms 后再发送。

如果事件发生在周期报文发送之前 20ms 内，则周期报文延迟到事件报文发送 20ms 后再发送。

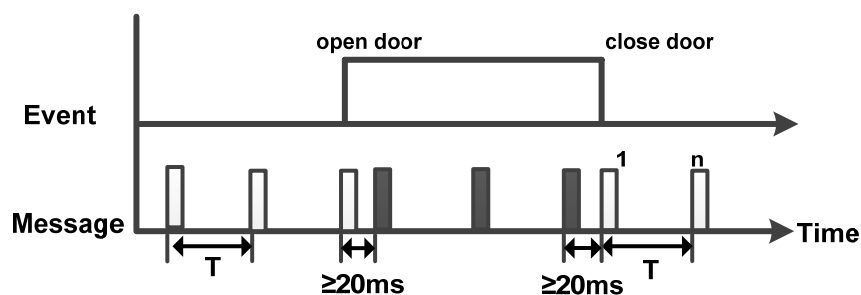


图 15 周期事件型报文

时序参数需由供应商和海马共同确定。

7.2.2.4 使能

和事件型发送类型一样，使能发送类型由报文中的一个或多个信号触发，引起报文传输。

当触发信号的“当前信号值≠非使能值时”，约束条件满足，触发条件发生。非使能值应该在通信矩阵中定义。

当信号值等于使能值时，使能报文立刻以周期时间 T 循环发送。当信号值由使能值变为非使能值时并且此时再无其它使能信号，相应报文发送 $n_{\text{RepetitionA}}$ 次，见图 16。

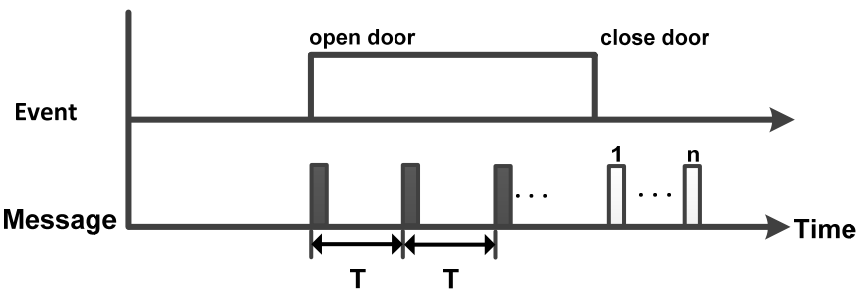


图 16 使能型报文

使能报文重复发送的时间间隔为 $t_{\text{RepetitionA}}$ ，参数定义见表 21。

表 21 使能型发送类型的参数推荐

参数	符号	标称值	单位	备注
报文发送次数	$n_{\text{RepetitionA}}$	–		在 CAN 通信矩阵中定义，必须得到整车厂确认
报文间隔时间	$t_{\text{RepetitionA}}$	–	ms	在 CAN 通信矩阵中定义，必须得到整车厂确认

7.2.2 消息/帧的接收

如果 ECU 在通信矩阵内被定义为一个帧的接收节点，这个帧将被严格的接收和处理，接收节点应严格按照通信矩阵内定义的帧发送周期来接收信号，不允许任何一帧报文遗漏。

8 总线网络相关故障描述

网络中的每个 ECU 须诊断下列故障：

总线 Bus-off 故障

报文内容错误（可选择）

报文计数或者 Checksum 校验错误（可选择）

8.1 Bus-off 故障

根据错误计数器值，节点可分为以下状态：

主动错误 Error Active，错误产生时，发送主动错误帧，正常进行总线通信；

被动错误 Error Passive，错误产生时，发送被动错误帧，能够进行总线通信；

Bus-off，不能收发总线报文；

CAN 节点状态变化见图 17。

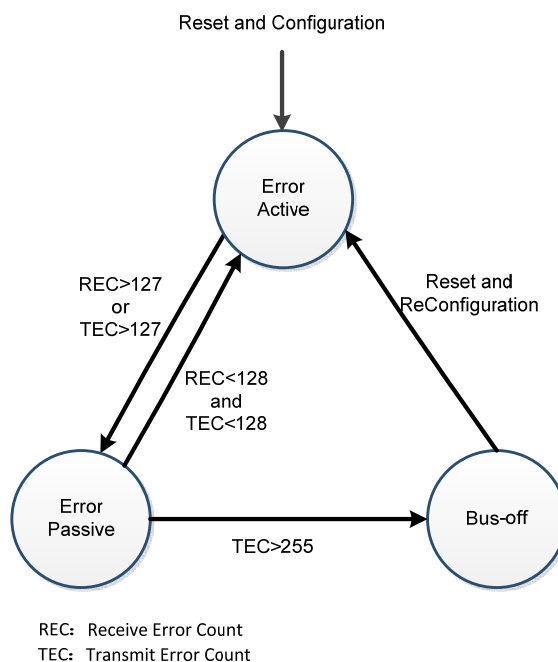


图 17 CAN 节点错误状态图

8.1.1 Bus-off 处理

本节定义了 ECU 如何从 Bus-off 错误模式中恢复，见图 18。

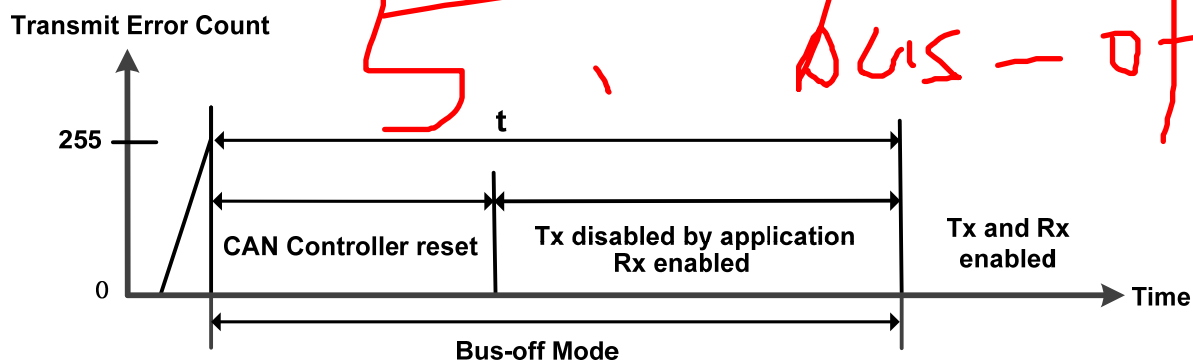


图 18 Bus-off 恢复模式

ECU 进入 Bus-off 模式后，执行如下操作进行恢复：

- 立即重新初始化 CAN 芯片；
- t ($t_{\text{BusOffQuick}}$ 或 $t_{\text{BusOffSlow}}$) 时间内应暂停发送报文，分为快速恢复和慢速恢复；
- 恢复到正常 CAN 通信。

当 ECU 进入 Bus-off 模式后：

- 首先，ECU 执行快速恢复模式；
- 连续 5 次快速恢复后，ECU 执行慢速恢复模式。

Bus-off 恢复时间见表 22。

表 22 Bus-off 恢复时间

参数	最小值 (ms)	标称值 (ms)	最大值 (ms)
tBusOffQuick	45	50	70
tBusOffSlow	180	200	220

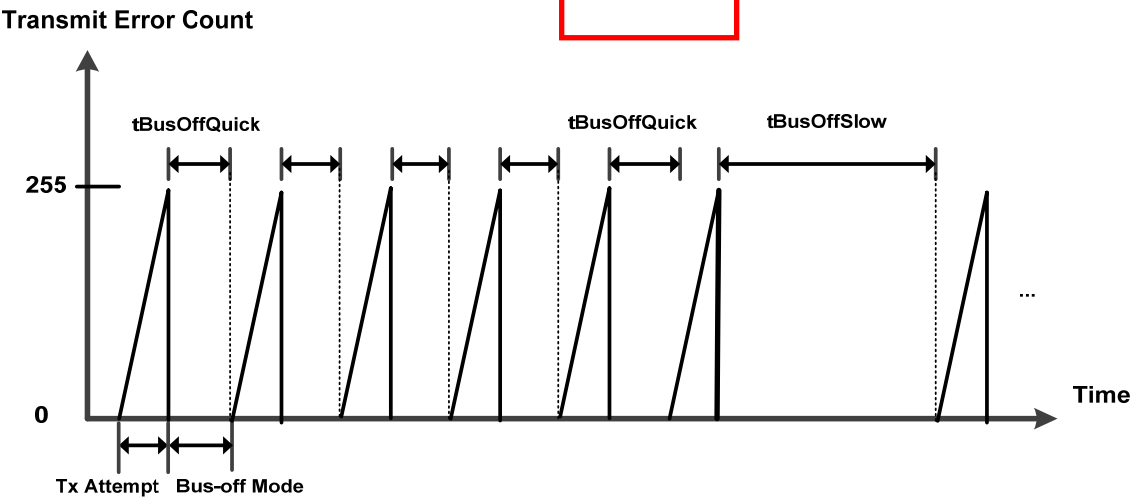


图 19 Bus-off 处理

8.1.2 Bus-off 后的超时监测

连续nBusOffCount（见表23）次Bus-off，且没有报文成功发送，则需要记录Bus-off的DTC。当ECU进入Bus-off模式后，ECU只会存储Bus-off故障码，而不该存储节点丢失或超时故障码。

表 23 记录故障连续 Bus-off 的次数

参数	最小值	标称值	最大值
nBusOffCount ¹	-	8	-
注：表示 Bus-off 的次数。			

8.2 报文内容错误（可选择）

对于一些重要的信号，当接收到报文中的信号标志位为无效或者信号超出有效值范围，持续超过tSignalInvalid时间，则接收 ECU 需记录相关的故障码，tSignalInvalid 的推荐值见表 24。

具体哪些信号需要记录故障码，由供应商根据节点的功能和控制策略决定。

表 24 tSignalInvalid 时间推荐值

参数	最小值 (ms)	标称值 (ms)	最大值 (ms)
tSignalInvalid	100	10 *Cycle	5000

8.3 报文计数或者 Checksum 校验错误（可选择）

ECU 需要验证收到的报文数据内容的正确性，某些重要的报文和信号都设置了“报文计数（Counter）”及“Checksum 校验”，当发送节点发送报文的“Counter”或者“Checksum 校验”与接收节点不符时，且连续超过 nCounterError 次后，接收节点应记录相应的故障码。nCounterError 的推荐

值见表 25。

具体哪些报文计数或者 [Checksum](#) 校验错误需要记录故障码，由供应商根据节点的功能和控制策略决定。

表 25 nCounterError 次数推荐值

参数	最小值	标称值	最大值
nCounterError	-	10	-

9 一致性测试要求

一致性测试需求不在此标准定义范围内，物理层相应一致性测试要求应该遵循ISO 16845一致性测试计划。
