

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系系列精品教材
普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

汽车车载网络技术

第2版

主 编 付百学
参 编 胡胜海 王永梅 季海成
 陈英君 范智勇
主 审 于建国



机械工业出版社

本书介绍了车载网络技术的应用背景、功能和特点,网络技术在汽车上的应用情况及发展趋势,车载网络的结构与组成及其常用基本术语,汽车网络参考模型,车载网络分类和通信协议标准,CAN 协议,CAN 的基本组成和数据传输原理,CAN 主要部件的结构原理以及 CAN 设计基础知识,LIN、LAN、VAN、FlexRay、MOST、蓝牙的特点、结构原理、应用情况以及汽车光纤技术,典型汽车车载网络系统(包括大众/奥迪轿车、雪铁龙赛纳轿车、欧宝威达轿车、马自达6轿车、奔驰轿车等),车载网络系统的故障与检修知识(包括车载网络系统的故障状态、现象和类型,检修注意事项,自诊断功能,故障检修步骤与检测方法),以及车载网络系统案例分析等内容。

本书可作为高等院校汽车类相关专业的本科教材,也可作为高职高专院校汽车类相关专业的教材,还可供从事汽车专业的工程技术人员参考和阅读。

本书配有 PPT 课件,采用本书作为教材的教师,可以登录 www.cmpedu.com 注册下载,或向编辑(tian.lee9913@163.com)索取。

图书在版编目(CIP)数据

汽车车载网络技术/付百学主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2019.4

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材 普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

ISBN 978-7-111-62356-4

I. ①汽… II. ①付… III. ①汽车—计算机网络—高等学校—教材
IV. ①U463.67

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 055737 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:宋学敏 责任编辑:宋学敏 张丹丹

责任校对:张薇 封面设计:张静

责任印制:孙炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2019年6月第2版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·500千字

标准书号:ISBN 978-7-111-62356-4

定价:56.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

当今，以电动化、智能化、网联化和共享化为基本推动力的“重新定义汽车、重新定义出行”的新赛道和新生态正在被塑造。智能网联汽车是搭载先进的车载传感器、控制器和执行器等装置，并融合现代通信与网络技术，实现车与路、人、云等智能信息交换和共享，具备复杂环境感知、智能决策和协同控制等功能的新一代汽车。这种新环境对汽车车载网络技术提出了新的要求。

汽车车载网络已成为汽车领域的最大热点，CAN、LIN、LAN、VAN、MOST、蓝牙技术和 FlexRay 等网络传输协议已成为现代汽车网络传输的关键技术。车载网络是汽车的一个重要组成部分，不了解车载网络技术，就不可能全面理解新一代汽车电子控制系统。车载网络正在被广泛地应用到汽车中，车载网络有其自身的特点，网络线路布置在汽车的隐蔽位置，线路不易损坏，车载网络系统出现故障可导致汽车电控单元之间不能相互通信，从而可能引发事故。从事汽车技术的人员必须尽快掌握车载网络技术。

本书在第1版的基础上，添加了 LAN、VAN、MOST、蓝牙技术和 FlexRay 等相关新技术，修订了部分内容。本书介绍了车载网络技术的应用背景、功能和特点，网络技术在汽车上的应用情况及发展趋势，车载网络的结构与组成、常用基本术语、网络参考模型、车载网络分类和通信协议标准，CAN 协议、CAN 的基本组成和数据传输原理、CAN 主要部件的结构原理以及 CAN 设计基础知识，LIN、LAN、VAN、FlexRay、MOST、蓝牙技术的特点、结构原理及应用情况以及汽车光纤技术，典型汽车车载网络系统（包括大众/奥迪轿车、雪铁龙赛纳轿车、欧宝威达轿车、马自达 6 轿车和奔驰轿车等），车载网络系统的故障与检修知识（包括车载网络系统的故障状态、现象和类型，检修注意事项，故障自诊断，读取测量数据块，车载网络系统的波形检测，车载网络系统主要部件故障的检测，车载网络系统案例分析等）。通过结构原理介绍与典型实例分析相结合，力争达到举一反三、触类旁通的效果。本书内容翔实、图文并茂、通俗易懂，反映最新汽车技术。

本书由黑龙江工程学院付百学教授担任主编，编写分工：胡胜海编写第一章，付百学编写第二章和第三章，季海成编写第四章，陈英君编写第五章，王



永梅编写第六章，范智勇编写第七章。本书由东北林业大学博士生导师于建国教授主审。编写过程中参考了国内外同行的部分著作和汽车厂家的有关技术资料，在此向所有的作者和厂家表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，恳请读者提出宝贵意见和建议，以便进一步完善。

编者

试读版本仅供防疫期间线上教学使用

第1版前言

随着汽车工业的快速发展,电子控制装置在汽车上的使用越来越多,许多中高档轿车采用了十几个甚至几十个电控单元,每个电控单元连接着多个传感器和执行器,并且各电控单元之间也需要进行信息交换。如果每种信息都通过各自独立的数据线进行传输,势必导致电控单元插接器端子数增加,整个电控系统的线束和插接器增加,最终导致故障率增加。为了减少电气节点的数量和导线用量,简化布线,提高各电控单元之间的通信速度,降低故障频率和减少成本,实现信息共享,提高可靠性和可维护性,汽车车载网络技术应运而生。

汽车车载网络已成为汽车领域最大的热点,CAN、LIN、LAN、MOST、蓝牙技术等网络传输协议已成为现代汽车网络传输的关键技术。车载网络是汽车的一个重要组成部分,不了解车载网络技术,就不可能全面理解新一代汽车电子控制系统。车载网络有其自身的特点,网络线路布置在汽车的隐蔽位置,线路不易损坏,但车载网络系统若出现故障,可导致汽车电控单元之间不能相互通信,从而引发汽车故障。从事汽车技术的人员必须尽快掌握车载网络技术。

本书介绍了车载网络技术的应用背景、功能和特点,网络技术在汽车上的应用情况及发展趋势,车载网络的结构与组成及其常用基本术语,汽车网络参考模型,车载网络分类和通信协议标准,CAN协议,CAN的基本组成和数据传输原理,CAN主要部件的结构原理以及CAN设计基础知识,LIN、LAN、MOST、蓝牙技术的特点、结构原理、应用情况以及汽车光纤技术,典型汽车车载网络系统(包括宝来轿车、雪铁龙赛纳轿车、欧宝威达轿车、马自达6轿车、奔驰轿车等),车载网络系统的故障与检修知识(包括车载网络系统的故障状态、现象和类型,检修注意事项,自诊断功能,故障检修步骤与检测方法),以及车载网络系统案例分析等内容。本书内容翔实、图文并茂,将结构原理介绍与典型案例分析相结合,力求通过通俗易懂的语言反映最新的汽车车载网络技术,起到举一反三、触类旁通的作用。本书可作为高等院校汽车类相关专业的本科教材,也可作为高职高专院校汽车类相关专业的教材,还可供从事汽车专业的工程技术人员参考和阅读。

本书由黑龙江工程学院付百学教授和哈尔滨工程大学胡胜海教授主编,东北林业大学博士生导师于建国教授主审,其中第一章、第三章由付百学老师编



写，第二章、第四章由胡胜海老师编写，第五章由阎岩老师编写，第六章由季海成老师编写，第七章由张锐老师编写。本书在编写的过程中参考了国内外同行的著作和相关汽车厂家的技术资料，在此向所有的作者和厂家表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，恳请读者提出宝贵意见和建议，以便进一步完善。

编者

试读版本仅供防疫期间线上教学使用

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 概述	1	第三节 CAN 的基本组成和数据传输原理	56
第一节 车载网络技术的应用背景	1	一、CAN 的基本组成	56
第二节 车载网络的发展历程	2	二、数据传输原理	61
第三节 车载网络系统的功能和特点	4	三、高速和低速 CAN 总线	65
一、车载网络系统的功能	4	第四节 CAN 主要部件的结构原理	68
二、车载网络系统的特点	5	一、CAN 控制器	68
第四节 网络技术在汽车上的应用	5	二、CAN 收发器	105
第五节 车载网络的发展趋势	7	第五节 CAN 设计基础	114
本章小结	8	一、CAN 智能节点设计	114
复习思考题	8	二、CAN 网桥设计	120
第二章 车载网络基础知识	9	本章小结	126
第一节 现场总线	9	复习思考题	126
一、功用	10	第四章 局部连接网络	127
二、特点	10	第一节 概述	127
三、现场总线的几种常见类型	11	一、LIN 的含义	127
第二节 车载网络的结构与组成	13	二、LIN 标准	127
第三节 常用基本术语	16	三、LIN 的特点	129
第四节 汽车网络参考模型	25	四、LIN 与 CAN 的比较	129
第五节 车载网络分类和通信协议标准	26	五、LIN 的应用	130
一、车载网络分类	26	第二节 LIN 总线的组成和工作原理	132
二、通信协议标准	27	一、LIN 总线的组成	132
第六节 汽车对通信网络的要求	36	二、LIN 总线工作原理	133
本章小结	37	本章小结	161
复习思考题	37	复习思考题	161
第三章 控制器局域网	38	第五章 其他车载网络技术	162
第一节 概述	38	第一节 汽车车载局域网	162
一、CAN 总线的特性	38	一、LAN 的结构和特点	162
二、CAN 总线的位数值表示	39	二、LAN 的传输介质	163
第二节 CAN 协议	40	三、LAN 的 MAC 协议	163
一、概述	40	四、LAN 的应用	164
二、CAN 的分层结构	41	第二节 VAN 总线	171
三、不同版本通信协议与互联	48		



一、概述	171	三、灯光与信号系统	246
二、VAN 总线的组成	171	四、刮水/清洗系统	258
三、VAN 总线的物理层	174	五、中央门锁系统	263
四、VAN 总线在汽车上的应用	178	六、防盗系统	266
第三节 FlexRay 总线	179	七、安全气囊	268
一、FlexRay 总线的特点	179	八、空调	270
二、FlexRay 总线的拓扑结构	180	九、音响	281
三、FlexRay 电控单元的结构原理	182	第三节 通用欧宝威达轿车	283
四、FlexRay 的协议操作控制	183	一、功率调节系统	283
五、FlexRay 的信息传输过程	185	二、内部照明系统	284
六、FlexRay 总线时钟同步	189	三、外部和危险照明系统	284
第四节 MOST 总线	191	四、刮水/清洗系统	284
一、MOST 总线的特点和类型	191	五、车窗升降装置	285
二、MOST 的结构和控制原理	194	六、禁用设备	286
三、MOST 在汽车上的应用	198	七、中央门锁系统	287
第五节 蓝牙技术	200	八、防盗报警系统	289
一、蓝牙技术简介	200	九、个性化系统	289
二、蓝牙技术的特点	201	第四节 一汽马自达6 轿车	290
三、车载蓝牙系统的组成与原理	202	一、CAN 总线的组成与功能	290
四、蓝牙技术在汽车上的应用	203	二、CAN 总线的故障检修	295
第六节 诊断总线	205	第五节 奔驰轿车光纤通信系统	298
一、概述	205	一、DDB 光纤传输网络	298
二、诊断条件	206	二、DDB 的传输回路	299
三、诊断总线的地址格式扩展	207	三、DDB 光纤传输的优点	299
第七节 汽车光纤技术	207	四、DDB 的工作原理和检测	300
一、光纤的类型和特点	207	本章小结	303
二、光纤多路传输的组成与应用	208	复习思考题	303
三、光源光学星形网络的检测	210	第七章 车载网络系统的故障与检修	304
本章小结	215	第一节 车载网络系统故障	304
复习思考题	216	一、故障状态	304
第六章 典型汽车车载网络系统	217	二、故障现象	305
第一节 大众/奥迪轿车	217	三、故障类型	305
一、概述	217	第二节 车载网络系统的故障检修	306
二、动力 CAN 总线	217	一、检修注意事项	306
三、舒适/信息 CAN 总线	219	二、故障自诊断	307
四、CAN 总线上的阻抗匹配	220	三、读取测量数据块	311
五、CAN 总线的电磁兼容原理	221	四、数据总数的波形检测	313
六、一汽宝来轿车 CAN 总线	222	五、车载网络主要部件故障的检测	316
七、奥迪轿车车载网络技术	225	第三节 车载网络系统案例分析	322
第二节 东风雪铁龙赛纳轿车	239	本章小结	338
一、多路传输	239	复习思考题	338
二、驾驶人信息系统	240	参考文献	340

第一章

概 述

第一节 车载网络技术的应用背景

随着汽车技术的快速发展，汽车性能不断提高，汽车电控单元（ECU）在汽车上得到了广泛应用，如电子燃油喷射系统（EFI）、汽车防滑控制系统（ABS/ASR）、电控自动变速器（EAT）、安全气囊（SRS）、电子悬架（ECS）和电动助力转向系统（EPS）等；汽车上电控单元的数量越来越多，线路越来越复杂。传统的点到点布线方式使汽车上的导线数量成倍增加，线束更加庞大，使电气线路的故障率增加，降低了电器与电控装置的工作可靠性；故障查找困难，维修不便。此外，汽车电控单元的大量使用，有些数据信息需要在不同的控制系统中共享，大量的控制信号也需要实时交换，以提高系统资源的利用率和工作可靠性。为了简化线路，提高信息传输的速度和可靠性，降低故障频率，车载网络技术应运而生，如控制器局域网（CAN）、局部连接网络（LIN）、局域网（LAN）和 FlexRay 等。一辆汽车不管采用多少个电控单元，每个电控单元只需引出两条线共同接在两个节点上，这两条导线称作数据总线，也称为网线。采用车载网络可减小线束尺寸和质量，降低成本，减少插接器的数量，同一款车同等配置下，可以大大简化汽车线束；可以进行设备之间的通信，丰富功能；通过信息共享，减少传感器信号的重复数量；通过系统软件即可实现控制系统功能变化和系统升级；可为诊断提供通用的接口，利用多功能测试仪对数据进行测试与诊断，便于维护和故障检修。常规方法布线与采用总线方式布线如图 1-1 所示。

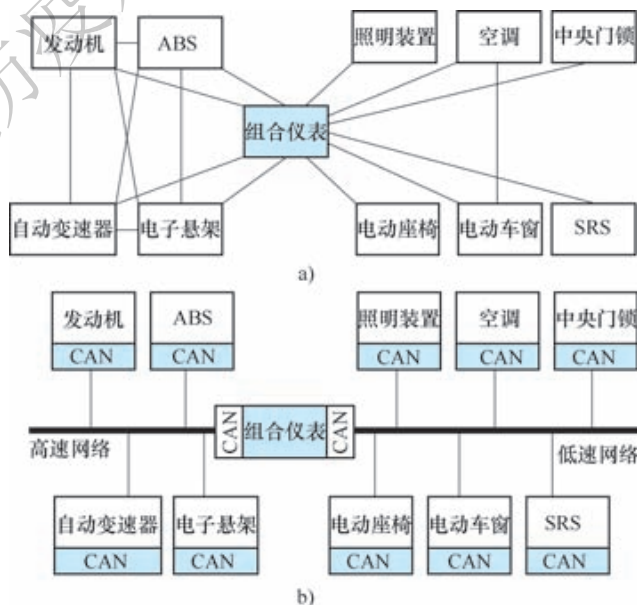


图 1-1 常规方法布线与采用总线方式布线

a) 常规布线 b) CAN 总线布线



第二节 车载网络的发展历程

历史沿革

自1980年起，汽车上开始装用车载网络。

1983年，博世公司开发了汽车总线系统，即CAN。同年，丰田汽车公司在世纪牌汽车上采用了应用光缆的车门电控系统，实现了多个控制单元的连接通信。

1986—1989年，汽车车身电气系统装用了以铜导线作为网线连接的车载网络系统，如美国通用公司的车灯多路传输控制系统、日产公司的车门多路传输控制系统等。

1992年，奔驰汽车公司作为世界上第一个CAN总线技术的公司，将CAN总线装配在客车上。

1993年，ISO公布了CAN协议的国际标准ISO 11898以及ISO 11519。美国通过采用SAE J1850总线普及了数据共享系统，也通过了CAN标准。

2000年，欧洲以与CAN协议不同的思路提出了控制系统的新协议——基于时间触发的协议（TTP），并在X-by-Wire系统上开始应用。当对汽车引入智能交通系统时，需要与车外交换数据，在信息系统中将采用大容量的网络，于是出现了DDB协议、MOST及IEEE1394等。

由于大量数据需要交换，车载网络系统迫切需要频带更宽的总线。CAN总线将在一段时间内继续充当统治者的角色，采用LIN、CAN和FlexRay混合的协议方案正成为趋势，DDB协议、MOST、ByteFlight和IEEE1394将在信息娱乐网络和安全网络中占有一席之地。

随着车载电子控制、信息装置以及信息服务需求的不断增加，对更好、更快、更可靠的车载网络的需求不断增长，尤其是多媒体信息、电子地图和Internet网络信息等在汽车上的应用，车载网络已经很难满足带宽、信息传输形式的需求，为此支持多媒体以及高数据传输的车载网络技术开始出现，车载以太网则为典型代表。车载以太网继承了以太网（Ethernet）传输速度快、可扩展性强等优点，以太网已于2008年前后开始在车辆故障自诊断（OBD）方面实现了实用化，今后将在提高实时性、确保故障时安全性、降低成本以及提高数据传输速度方面进一步发展，同时，应用范围也将扩展到将车载A设备的影像传输（信息）系统、车身系统、控制系统、安全系统及信息系统等各系统的网关连接起来的主干网络。

汽车车载网络技术目前得到了较为广泛的应用，但尚没有满足成本低、性能非常可靠、具有容错能力、时间特性好（包括实时性和事件响应时间的可确定性）和可扩展性好的网络系统。由于车载网络应用的层次和目的变化很大，不同的层次或目的对网络性能的要求有很大差异。汽车本身对价格非常敏感，若用性能高的网络系统覆盖低层次的应用，则成本无法接受。汽车需要采用多个不同层次的网络标准，车载网络将是一个多



层互联网结构。

主要车载网络的名称、概要、通信速度和组织/推动单位见表 1-1，主要车载网络的开发年份、采用厂家与发表年份见表 1-2，几种典型网络的成本比例与通信速度对比如图 1-2 所示。

表 1-1 主要车载网络的名称、概要、通信速度和组织/推动单位

车载网络名称	概 要	通信速度	组织/推动单位
CAN (Controller Area Network)	车身/动力与传动系统用 LAN 协议，最有可能成为世界标准的车用 LAN 协议	1Mbit/s	德国博世公司 (开发), ISO
VAN (Vehicle Area Network)	车身系统控制用 LAN 协议，以法国为中心	1Mbit/s	ISO
J1850	车身系统控制用 LAN 协议，以美国为中心	10.4kbit/s 41.6kbit/s	福特公司
LIN (Local Interconnect Network)	车身系统控制用 LAN 协议，液压组件专用	20kbit/s	LIN 协会
IDB-C (ITS Data Bus On CAN)	以 CAN 为基础的控制用 LAN 协议	250kbit/s	IDM 论坛
TTP/C (Time Triggered Protocol by CAN)	重视安全、按用途分类的控制用 LAN 协议，时分多路复用 (TDMA)	2Mbit/s 25Mbit/s	TIT 计算机技术公司
TTCAN (Time Triggered CAN)	重视安全、按用途分类的控制用 LAN 协议，时间同步的 CAN	1Mbit/s	德国博世公司, CiA
ByteFlight	重视安全、按用途分类的控制用 LAN 协议，通用时分多路复用 (FTDMA)	10Mbit/s	宝马公司
FlexRay	重视安全、按用途分类的控制用 LAN 协议	5Mbit/s	宝马公司, 戴姆勒-克莱斯勒公司
DDB (Domestic Digital Bus)/Optical	音频系统通信协议，将 DDB 作为音频系统总线，采用光纤通信	5.6Mbit/s	C & C 公司
MOST (Media Oriented System Transport)	信息系统通信协议，以欧洲为中心，由克莱斯勒与宝马公司推出	22.5Mbit/s	MOST 合作组织
IEEE 1394	信息系统通信协议，有转化为 IDB 1394 的趋势	100Mbit/s	1394 工业协会

表 1-2 主要车载网络的开发年份、采用厂家与发表年份

年份	车载网络	厂家/地区	说 明
	DDB 开发	飞利浦公司	1986 年 2 月北美车采用 LAN
	CAN 开发	博世公司	1986 年 12 月欧洲车采用 LAN
1986	VNP 开发 CCD 开发	北美 北美	1987 年 12 月日本车采用 LAN
1988	MOST 开发 CCD 开发 VAN 开发	美国	
1991	CAN 开发	欧洲	

(续)

年份	车载网络	厂家/地区	说明
1992	DDB DDB Optical 开发	日本	
1994	J1850 VAN	SAE 认可, ISO 批准	
1995	DDB	欧洲	以汽车厂为主对新 LAN 进行研究
2000	发表 LIN 发表 TTP 发表 ByteFlight 发表 TTCAN		推出了众多新的 LAN

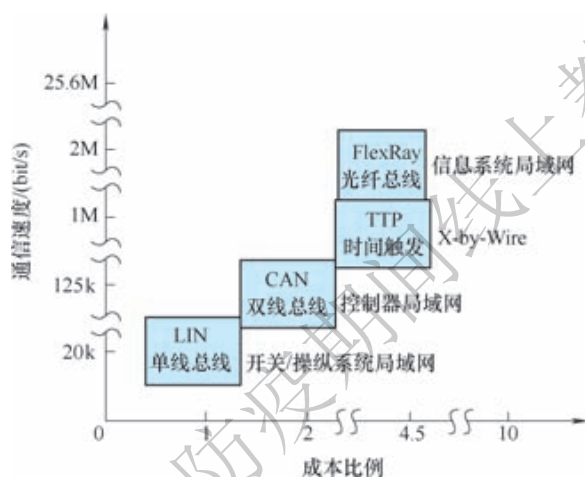


图 1-2 几种典型网络的成本比例与通信速度对比

第三节 车载网络系统的功能和特点

一、车载网络系统的功能

1. 多路传输功能

为了减少车辆电气线束的数量，多路传输通信系统可使部分数字信号通过共用传输线路进行传输。当系统工作时，由各个开关发送的输入信号通过中央处理器（CPU）转换成数字信号，该数字信号以串行信号方式从传感器传输给接收装置，发送的信号在接收装置处将被转换为开关信号，再由开关信号对有关元件进行控制。

2. “唤醒”和“休眠”功能

“唤醒”和“休眠”功能用于减少在关闭点火开关时蓄电池的额外能量消耗。当系统处于“休眠”状态时，多路传输通信系统将停止如信号传输和 CPU 控制等功能，以节约蓄电池的电能；当系统有人为操作时，处于“休眠”状态的有关控制装置立即开始工作，



同时还将“唤醒”信号通过传输线路发送给其他控制装置。

3. 失效保护功能

失效保护功能包括硬件失效保护功能和软件失效保护功能。当系统的 CPU 发生故障时，硬件失效保护功能使其以固定的信号进行输出，以确保车辆能继续行驶；当系统某控制装置发生故障时，软件失效保护功能将不受来自有故障的控制装置的信号影响，以保证系统能继续工作。

4. 故障自诊断功能

故障自诊断功能包括多路传输通信系统的自诊断模式和各系统输入线路的故障自诊断模式，既能对自身的故障进行自诊断，又能对其他系统进行故障诊断。

二、车载网络系统的特点

汽车网络信息传输方式是利用数据总线将汽车上的各个功能模块（电控单元等）连接起来，形成汽车信息传输网络系统。发送数据和控制信号的功能模块将数据和控制信号以编码的方式发送到同一根总线上，接收数据或控制信号的功能模块通过解码获得相应的数据和控制命令（或某个开关动作）。总线每次只传送一个信息，多个信息分时逐个（串行）传输。其传输特点如下：

1) 由于用一根总线替代了多根导线，减少了导线的数量和减小了线束的体积，简化了整车线束，线路成本和质量都有所下降。

2) 由于减少了线路和节点，信号传输的可靠性得以提高，并提高了整车电气线路的工作可靠性。

3) 改善了系统的灵活性，通过系统软件即可实现控制系统功能变化和系统升级。

4) 网络结构将各控制系统紧密连接，达到数据共享的目的，各控制系统的协调性可进一步提高。

5) 可为诊断提供通用的接口，利用多功能测试仪对数据进行测试与诊断，方便了维修人员对电子系统的维护和故障检修。

第四节 网络技术在汽车上的应用

网络技术在汽车上主要用于动力与传动系统、安全系统、车身系统和信息（娱乐）系统，其应用等级如图 1-3 所示。

1. 动力与传动系统

动力与传动系统利用网络将发动机舱内的电控单元连接起来，实现如车辆行驶、停车及转弯等功能，采用高速网络。动力与传动系统电控单元的固定位置比较集中，节点数量也有限制。

动力 CAN 总线连接 3 个电控单元，即发动机电控单元、ABS 电控单元及自动变速器电控单元（动力 CAN 总线实际还可以连接 SRS、四轮驱动与组合仪表等电控单元）。总线可以同时传递 10 组数据，即发动机电控单元 5 组、ABS 电控单元 3 组和自动变速器电控单元 2 组。数据总线以 500kbit/s 的速率传递数据，每一数据组传递大约需要 0.25ms，每

一电控单元 7~20ms 发送一次数据。其顺序为 ABS 电控单元、发动机电控单元和自动变速器电控单元。

动力与传动系统中的数据传递应尽可能快，以便及时利用数据，所以需要高性能的发送器。高性能发送器会加快速度系统间的数据传递，使接收到的数据立即应用于下一个点火脉冲。CAN 总线连接点通常置于电控单元外部的线束中，在特殊情况下，连接点也可能设在发动机电控单元内部。

2. 安全系统

SRS 根据各种传感器信息进行工作，因此使用的节点数较多。对此要求系统成本低、通信速度快，且通信可靠性高。

3. 车身系统

与动力与传动系统相比，车上各处都配置有车身系统的部件。因此，线束变长，易受到干扰。应尽量减慢通信速度，以提高抗干扰能力。在车身系统中，与性能（通信速度）相比，更侧重于成本，目前常采用直连总线及辅助总线。

舒适 CAN 总线连接 5 个电控单元，包括中央电控单元及 4 个车门电控单元，实现中央门锁、电动车窗、照明开关、后视镜加热及自诊断 5 种控制功能。电控单元的各条传输线以星状形式汇聚一点，如果一个电控单元发生故障，其他电控单元仍可发送各自的数据。

该系统使经过车门的导线数量减少，线路简单。如果线路中某处对搭铁短路、对正极短路或线路间短路，CAN 会立即转为应急模式运行或转为单线模式运行。4 个车门电控单元都由中央电控单元控制，只需较少的自诊断线。

数据总线以 62.5kbit/s 速率传递数据，每一组数据传递约需要 1ms，每个电控单元 20ms 发送一次数据。优先权顺序为：中央电控单元、驾驶人侧车门电控单元、前排乘客侧车门电控单元、左后车门电控单元、右后车门电控单元。由于舒适系统中的数据可以用较低的速率传递，所以发送器性能比动力传动系统发送器的性能要求低。

4. 信息（娱乐）系统

信息（娱乐）系统通信总线应具有容量大、通信速度高等特点。因此，通信媒体逐渐使用光纤取代以往的铜线。

网络技术在汽车上除上述应用外，还有面向 21 世纪的控制系统、高速车身系统及主干网络等，因此会有不同的网络并存，要求网络之间可以互相连接，也可以断开。为了实现即插即用，将各种网络与总线相连，根据汽车平台选择并建立所需要的网络，典型

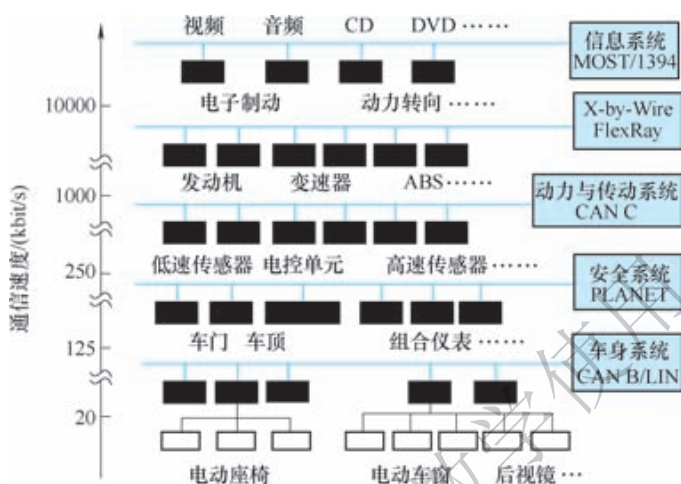


图 1-3 车载网络的应用等级



的车载网络如图 1-4 所示。

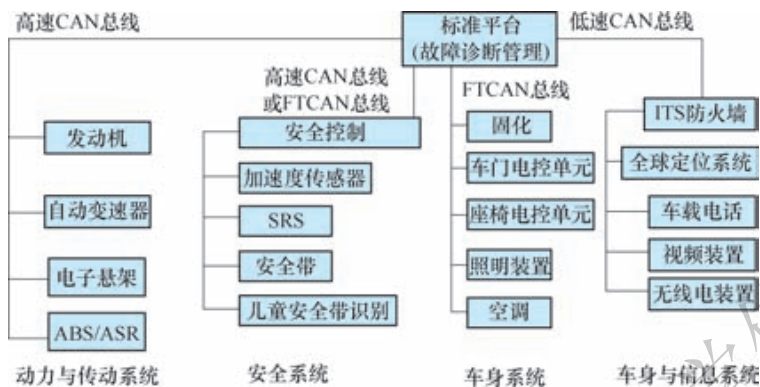


图 1-4 典型的车载网络

第五节 车载网络的发展趋势

1. DDB Optical 光纤

DDB Optical 是一种光纤通信系统，使用者可以将娱乐及信息产品与中央控制系统整合，不会与中央控制系统相互抵触。DDB 光纤网络采用光纤以光波传输数据，数据按次序在光纤网络中传输，主要用于收音机、卫星导航、CD、音控放大器、移动电话和道路交通导航系统等。

采用 DDB 光纤网络可减少传输信号失真，线路无损耗。车辆其他用电设备产生高频干扰电流以及静电等对 DDB 光纤传输网络不构成干扰。

目前，DDB Optical 应用在车身网络上，特别是数字影音和导航系统，其特点在于激活时，即自我组态，且新、旧的 DDB Optical 装置都相融于车身网络。

2. COMMAND 网络

COMMAND 网络是一种独立的网络，用于连接交通状况记录模块与电视（TV）频道译码模块，资料由中央通信控制单元播放 TV 并结合卫星导航和地图系统，指示驾驶人如何避开交通拥塞道路。

3. CellPort Labs 移动电话网络

移动电话与 DDB 光纤永久连接，当移动电话使用 TMC/GSM 与交通信息中心连接时，移动电话通过移动电话网络与交通状况记录模块传递信息，进行导航指示，与汽车使用共通的接口，行车时也可同时打电话。

4. TOKEN BUS

TOKEN BUS 是一种通过网络到实体层寻找资料的方式。对加装与实时的配备而言，局域网不需要太多软件支持便能提供实体层、数据链路层和开放式相互连接系统的传输功能，如流量控制和硬件封包等。

5. OSEK 开放式标准化系统

开放式标准化系统兼容于车内的电子产品接口，将实时的操作系统、软件接口及管理



网络与通信功能都规范化，在戴姆勒-克莱斯勒与 IBM 的协议下，该系统已成为车上的基本操作系统。

本章小结

随着汽车技术的快速发展，车用电控单元的数量越来越多，线路更加复杂，线路故障率增加，电器与电控装置的工作可靠性降低，故障查找困难，维修不便；电控单元的大量使用，数据信息需要共享、实时交换，为此以 CAN、LIN 等为主的车载网络技术应运而生。

车载网络技术目前得到了广泛的应用，如动力与传动系统、车身系统、安全系统和信息系统等，但尚未满足成本低、性能可靠、具有容错能力、时间特性和可扩展性好等要求。车载网络不同的应用层次或目的对网络性能要求差异很大，汽车需要采用多个不同层次的网络标准，车载网络将是一个多层互联网结构。

复习思考题

1. 简述车载网络技术的必要性。
2. 车载网络系统有哪些功能和特点？
3. 简述车载网络技术在汽车上的具体应用。
4. 简述车载网络的发展趋势。

试读版本仅供防疫期间线上教学使用

第二章

车载网络基础知识

第一节 现场总线

计算机、控制器、通信和 CRT 显示技术的发展，尤其是微处理器技术和集成电路技术的飞速发展，使控制技术向高、精方向发展，汽车正在走向信息化。到目前为止，过程控制经历了模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统、集散控制系统（Distributed Control System, DCS）和现场总线控制系统（Field Bus Control System, FCS）。信息技术的飞速发展引发了自动化领域的深刻变革，逐步形成了网络化、全开放的自动控制体系，现场总线控制技术就是这场变革中最核心的技术。其中，现场总线控制技术中的车载网络技术是汽车工业应用的成熟技术之一。

延伸阅读

不同控制系统的性能比较见表 2-1。

表 2-1 不同控制系统的性能比较

类 型	优 点	缺 点	应用时间
模拟仪表控制系统	结构简单	模拟信号精度低，易受干扰	20 世纪 60 和 70 年代
集中式数字控制系统	精度高，抗干扰能力强，易于根据全局情况进行控制计算和判断，可统筹选择控制方式和控制时机	对电控单元本身要求高，必须具有足够的处理能力和极高的可靠性，当系统任务增加时，控制器的效率和可靠性急剧下降	20 世纪 70 和 80 年代
DCS	对电控单元无要求，采用集中管理和分散控制。上位机集中监视管理，下位机分散到现场实现分布式控制，上、下位机之间用网络互连实现信息传递	封闭专用的、不具有可操作性的分布式控制系统，且造价昂贵	20 世纪 80 和 90 年代
FCS	全数字化、全分散式、全开放、可互操作和开放式互连网络，成本低，可靠性高	进一步提高智能化程度	20 世纪 90 年代以后

一、功用

总线即传输信息的公共通道，现场总线（Field Bus）是指安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线。现场总线技术是一种全数字化、全分散式、可互操作和开放式互连网络的新一代控制技术，是计算机技术、通信技术和控制技术的综合与集成。

现场总线技术将专用微处理器置入传统的测量控制仪表，使其各自具有一定的计算和数字通信功能，成为能独立承担某种控制、通信的网络节点，并分别通过普通双绞线、同轴电缆和光纤等进行信息传输，形成以多个测量控制仪表和计算机等作为节点连接成的网络系统。计算机网络将人类引入到信息时代，而现场总线将自动控制系统与设备加入到信息系统的行列。现场总线技术的出现，标志着自动化新时代的开始。

二、特点

1. 总线式结构

一对传输线（总线）挂接多台现场仪器，双向传输多个信号，如图 2-1 所示。该结构接线简单，工程周期短，安装费用低，维护容易。若增加现场设备或现场仪器，只需并行挂接到电缆上，无须架设新的电缆。

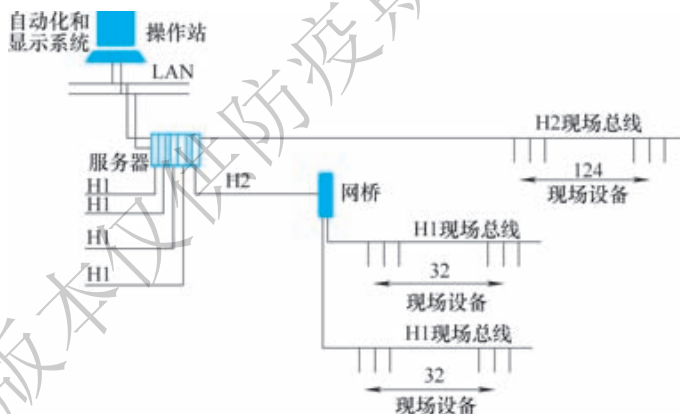


图 2-1 现场总线的结构

2. 彻底的分散控制

现场总线的分散控制如图 2-2 所示。现场总线将控制功能下放到作为网络节点的现场智能仪表和设备中，做到彻底的分散控制，提高了系统的灵活性、自治性和安全可靠，减轻了分布式控制中电控单元的计算负担。

3. 开放性、互操作性和互换性

现场总线采用统一的协议标准，是开放式的互连网络。不同厂家的产品可以方便地接入同一网络，在同一控制系统中进行互操作；不同厂家性能类似的设备可实现相互代替，简化了系统集成。

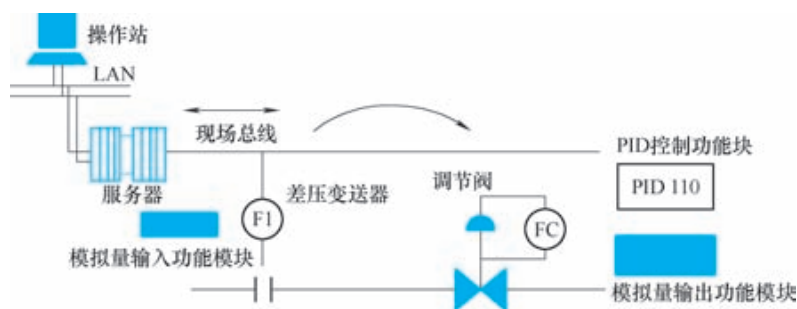


图 2-2 现场总线的分散控制

4. 多种传输介质和拓扑结构

由于采用数字通信方式，因此可用多种介质进行通信。根据控制系统中节点的空间分布情况，可应用多种网络拓扑结构。

5. 可靠性高

数字信号传输抗干扰能力强，精度高，成本低。

6. 综合功能

现场仪表既有检测、变换和补偿功能，又有控制和运算功能，实现了一表多用，不仅方便了用户，而且降低了成本。

三、现场总线的几种常见类型

现场总线技术发展迅速，目前已开发出 40 余种。常见的现场总线有基金会现场总线 (FF)、过程现场总线 (Profibus)、局部操作网络 (LonWorks)、CAN、设备网 (DeviceNet) 和控制网 (ControlNet)，其性能比较见表 2-2。

表 2-2 常见现场总线性能比较

类型	FF	Profibus	LonWorks	CAN	DeviceNet	ControlNet
特性						
开发公司	Fisher Rosemount	Siemens	Echelon	Bosch	Rockwell Automation	Rockwell Automation
OSI 网络层次	1、2、7、(8)	1、2、7	1~7	1、2、7	1、2、7	1、2、7
通信介质	双绞线、同轴 电缆和光纤	双绞线和光纤	双绞线、同轴 电缆、光纤、无 线和电源线	双绞线	双绞线、同轴 电缆和光纤	双绞线、同 轴电缆和光纤
介质访问 方式	令牌	令牌	可预测 P-坚 持 CSMA (Pred- ictive P-Persistent CSMA)	带非破坏性逐 位仲裁的载波侦 听多路访问 (CSMA/NBA)	带非破坏性逐 位仲裁的载波侦 听多路访问 (CSMA/NBA)	隐性令牌
最大通信速 率/(kbit/s)	31.25 (H1) 100000 (H2)	12000	1500	1000	500	5000

(续)

类型 特性	FF	Profibus	LonWorks	CAN	DeviceNet	ControlNet
最大节点数	32	127	2 ⁴⁸	110	64	99
优先级	有	有	有	有	有	有
本质安全性	是	是	是	是	是	是
开发工具	有	有	有	有	有	无

1. FF

FF的体系结构参照ISO/OSI参考模型的第1、2、7层协议，即物理层、数据链路层和应用层。另外增加了用户层。FF分为低速H1总线 and 高速H2总线两种。H1为用于过程控制的低速总线，传输速率为31.25kbit/s，传输距离分别为200m、400m、1200m和1900m四种，可挂接2~32个节点。物理传输介质可支持双绞线、同轴电缆和光纤，协议符合IEC 1158—2标准，可支持总线供电和本质安全防爆。高速H2总线的传输速率可达100Mbit/s，甚至更高，大量使用了以太网技术。

2. Profibus

Profibus有3种类型，即分散化的外围设备(Profibus-DP)、现场总线报文规范(Profibus-FMS)和过程自动化(Profibus-PA)。它采用开放系统ISO/OSI参考模型的物理层和数据链路层。分散化的外围设备隐去了第3~7层，而增加了直接数据连接拟合作为用户接口；现场总线报文规范只隐去了第3~6层，采用了应用层。其最大传输速率为12Mbit/s，传输距离分别为100m和400m，传输介质为双绞线或光纤，最多可挂接127个节点，可支持本质安全。

3. LonWorks

采用ISO/OSI参考模型的全部7层协议和面向对象的设计方法，通过网络变量将网络通信设计简化为参数设置，其最大传输速率为1.5Mbit/s，传输距离为2700m，传输介质为双绞线、光纤、同轴电缆、射频、红外线和电源线等，可支持总线供电和本质安全。采用的LonTalk协议被封装在Neuron芯片中，内含3个8位微处理器，分别用于负责媒体访问控制、网络处理和应用处理。通常将局部操作网络及其技术统称为LonWorks技术。

4. CAN

CAN用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信。CAN结构模型取ISO/OSI参考模型的第1、2、7层协议，即物理层、数据链路层和应用层。通信速率最高为1Mbit/s，通信距离最远为10000m。物理传输介质可支持双绞线，最多可挂接110个节点，可支持本质安全。CAN采用短帧报文，抗干扰能力强，可靠性高。

5. DeviceNet

DeviceNet是一种开放式的通信网络，将工业设备(如光电开关、操作员终端、电动机起动器、变频器和条形码读入器等)连接到网络。该网络虽然是工业控制的最底层网络，通信速率不高，传输数据量不大，但它采用了数据网络通信的新技术，如遵循控制及信息协议(CIP)，具有低成本、高效率和高可靠性的特点。DeviceNet遵从ISO/OSI参



考模型，其网络结构分为物理层、数据链路层和应用层，物理层下面还定义了传输介质，其中物理层和数据链路层均采用 CAN 协议。传输介质可支持双绞线，最多可挂接 64 个节点。3 种可选数据传输速率为 125kbit/s、250kbit/s 和 500kbit/s，分别对应的传输距离为 500m、250m 和 100m。支持设备的热插拔，可带电更换网络节点，符合本质安全要求。

6. ControlNet

ControlNet 是一种高速、高确定性和可重复性的网络，特别适用于对时间有苛刻要求的复杂场合的信息传输。其总线上传输的信息一类是对时间有苛刻要求的控制信息和 I/O 数据，拥有最高的优先权，以保证不受其他信息的干扰，并具有确定性和可重复性；另一类是无时间苛求的信息，如上/下载程序、设备组态和诊断信息等。ControlNet 采用 ISO/OSI 参考模型的物理层、数据链路层及应用层，其中应用层采用 CIP。ControlNet 只支持 5Mbit/s 的通信速率，支持的传输介质为屏蔽双绞线、同轴电缆或光纤，并支持本质安全。

第二节 车载网络的结构与组成

典型汽车车载网络系统如图 2-3 所示，网络布置如图 2-4 所示。通常，车载网络结构采用多条不同速率的总线分别连接不同类型的节点，并使用网关服务器实现整车的信息共享和网络管理，网络数据传输如图 2-5 所示。奥迪轿车车载网络系统如图 2-6 所示。

动力与传动系统的受控对象直接关系到汽车的行驶状态，对通信实时性要求较高。因此使用高速的总线连接动力与传动系统。传感器的各种状态信息以广播的形式在高速总线上发布，各节点在同一时刻根据需要获取信息。数据交换网建立在优先权竞争的基础上，并且具备极高的通信速率。

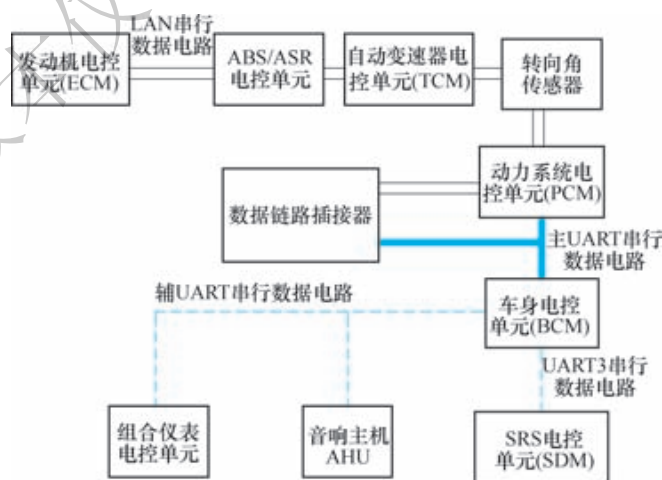


图 2-3 典型汽车车载网络系统

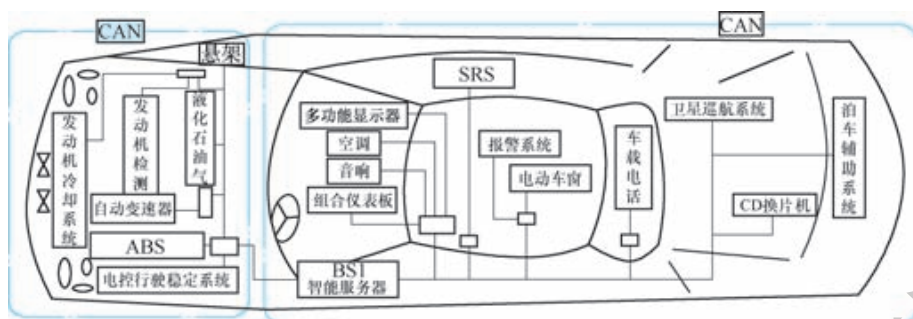


图 2-4 车载网络系统的布置

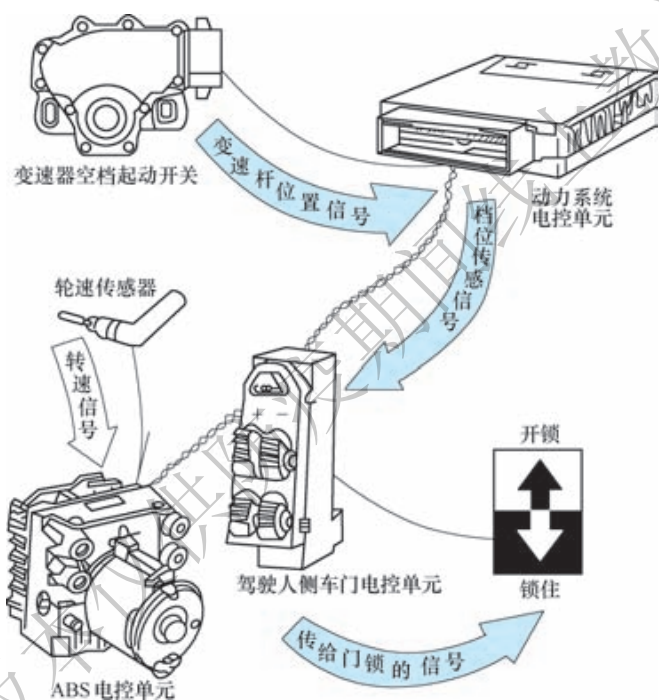


图 2-5 车载网络数据传输

车身系统电控单元对实时性要求低而数据量大。使用低速的总线连接车身系统电控单元，将其与汽车的驱动系统分开，有利于保证驱动系统通信的实时性。此外，采用低速总线还可增加传输距离，提高抗干扰能力以及降低硬件成本。

故障诊断系统是将车用诊断系统在通信网络上加以实现。

信息与车载媒体系统对于通信速率的要求更高，一般在 2Mbit/s 以上，故采用基于光纤通信的多媒体总线连接车载媒体，以保证带宽。

通过网关可以实现各条总线信息的共享，实现汽车内部的网络管理和故障诊断功能。上海别克荣御轿车网络系统的网关是动力系统接口电控单元，如图 2-7 所示。车载网络系统的主要附属装置如图 2-8 所示。

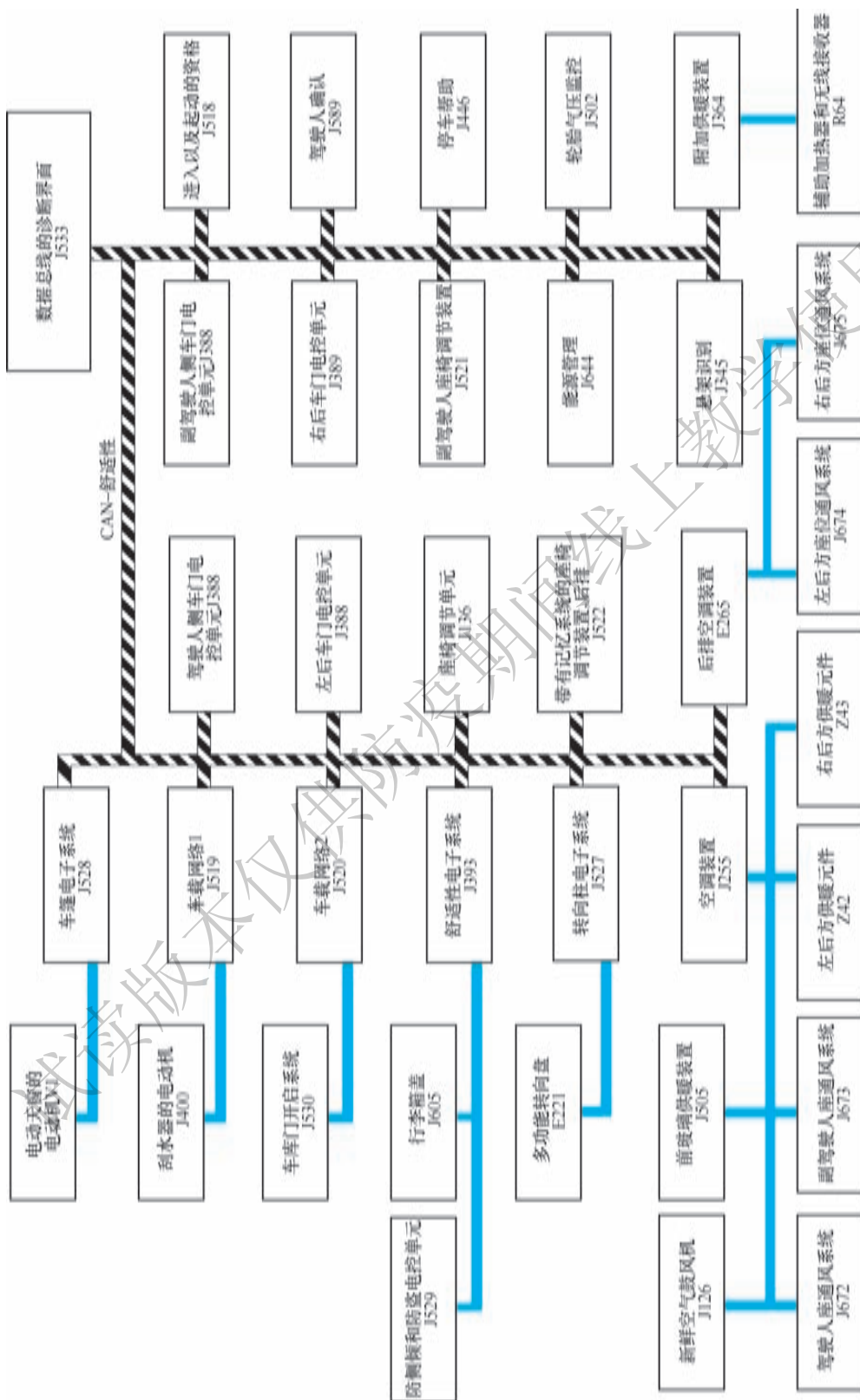


图 2-6 奥迪轿车车载网络系统

注：单粗线为 LIN 总线，斜纹线为 CAN 总线。

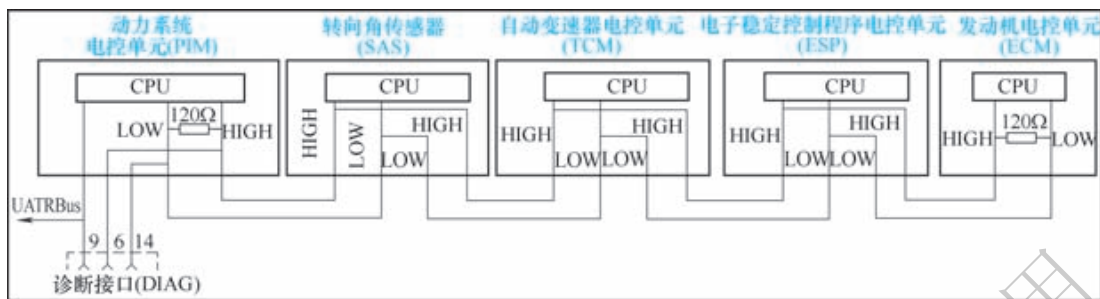


图 2-7 动力系统接口电控单元（网关）

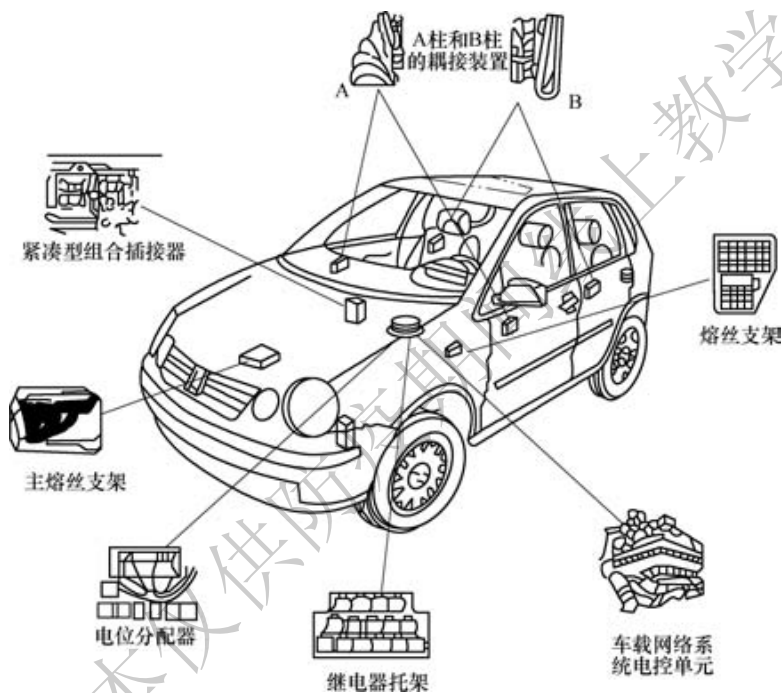


图 2-8 车载网络系统的主要附属装置

第三节 常用基本术语

汽车车载网络系统中有许多计算机专用术语，如数据总线、网络、通信协议、数据传输、报文、帧、网关、仲裁和终端电路等。

1. 数据总线

数据总线是电控单元之间传递数据的通道。数据总线可以实现在一条数据线上传递的信息能被多个系统（电控单元）共享的目的，从而最大限度地提高系统整体效率，充分利用有限的资源。如果系统可以发送和接收数据，则该数据总线称为双向数据总线。数据总线可分为单线式或双线式。双线式的其中一条导线不是用作额外的通道，而是用于数据通道一旦出现故障，使数据换向通过或在两条数据总线中未发生故障的部分通过。



为了抗电磁干扰，双线式数据总线的两条线扭结在一起。

各汽车制造商一直在设计各自的数据总线，如果不兼容，就称为专用数据总线。如果是按照某种国际标准设计的，则为非专用数据总线。为使不同厂家生产的零部件能在同一辆汽车上协调工作，必须制定标准。按照 ISO 有关标准，CAN 的拓扑结构为总线式，因此也称为 CAN 总线。

2. 网络

为了实现信息共享而将多条数据总线连在一起，或将数据总线和模块连接为一个系统，称为网络。计算机网络是在协议控制下，由一台或多台计算机、若干台终端设备、数据传输设备，以及便于终端和计算机之间或若干台计算机之间数据流动的通信控制处理机等所组成的系统集成。

局域网（又称为区域网）是在一个有限区域内连接的计算机网络。一般该区域具有特定的职能，通过网络实现系统内的资源共享和信息通信。连接到网络上的节点可以是计算机、基于微处理器的应用系统或智能装置。局域网的数据传输速度在 $10^2 \sim 10^5$ kbit/s 范围内，传输距离为 100~250m。网络是局域网与现场总线之间的一种结构，数据传输速度为 $10 \sim 10^3$ kbit/s，传输距离在几十米范围内。汽车上许多电控单元和数据总线距离很近，因此被称为局域网。摩托罗拉公司设计的一种智能车身辅助装置网络，被称为局域网互联网。CAN 是国际上广泛应用的汽车总线之一，可实现车载电控单元之间的信息交换，发动机电控单元、自动变速器电控单元和仪表装备等均可嵌入 CAN 控制装置。

新型雷克萨斯汽车多路传输网络如图 2-9 所示。几条数据总线间共有 29 个相互交换

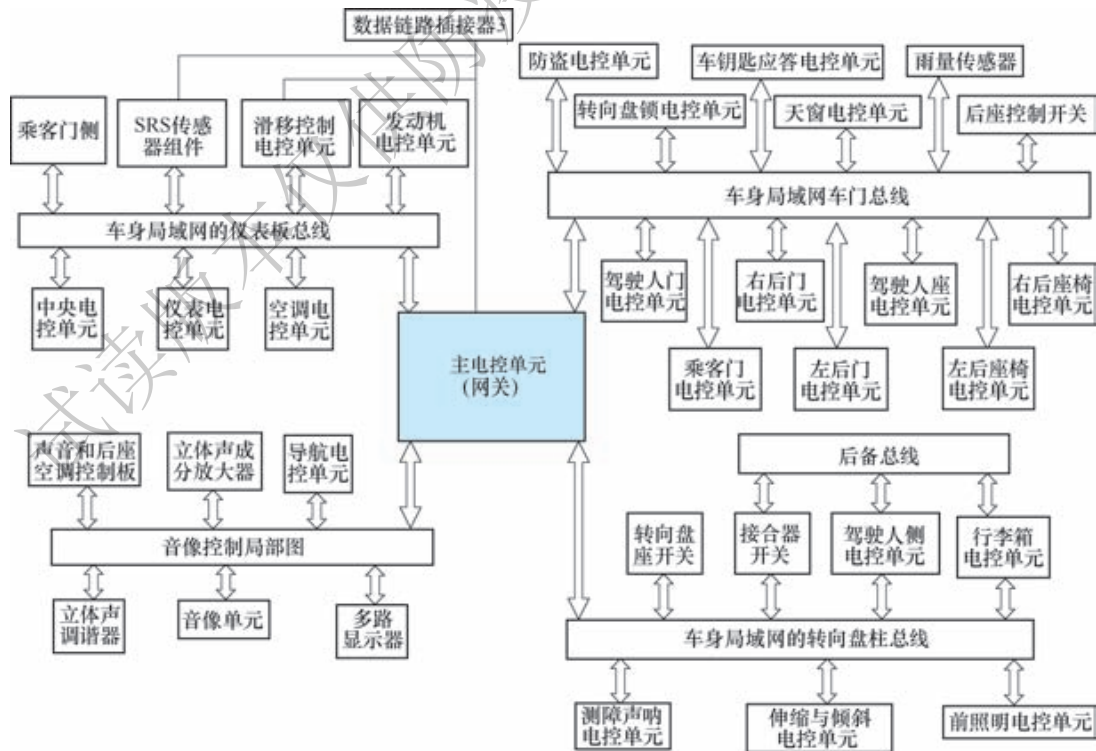


图 2-9 新型雷克萨斯汽车多路传输网络

信息的电控单元，总线连接到局域网上，共有3个接线盒电控单元，其中2个作为前端电控单元，1个作为后端电控单元，用于提供诊断支持（包括接插方便的插接器及测试点）。

3. 网络拓扑结构

拓扑是研究与大小、形状无关的线和面的特性的方法。将计算机等网络单元抽象为点，网络中的通信媒体（如电缆）抽象为线，从而抽象出网络的拓扑结构。常见的局域网拓扑结构有总线型、环形和星形等，如图2-10所示。

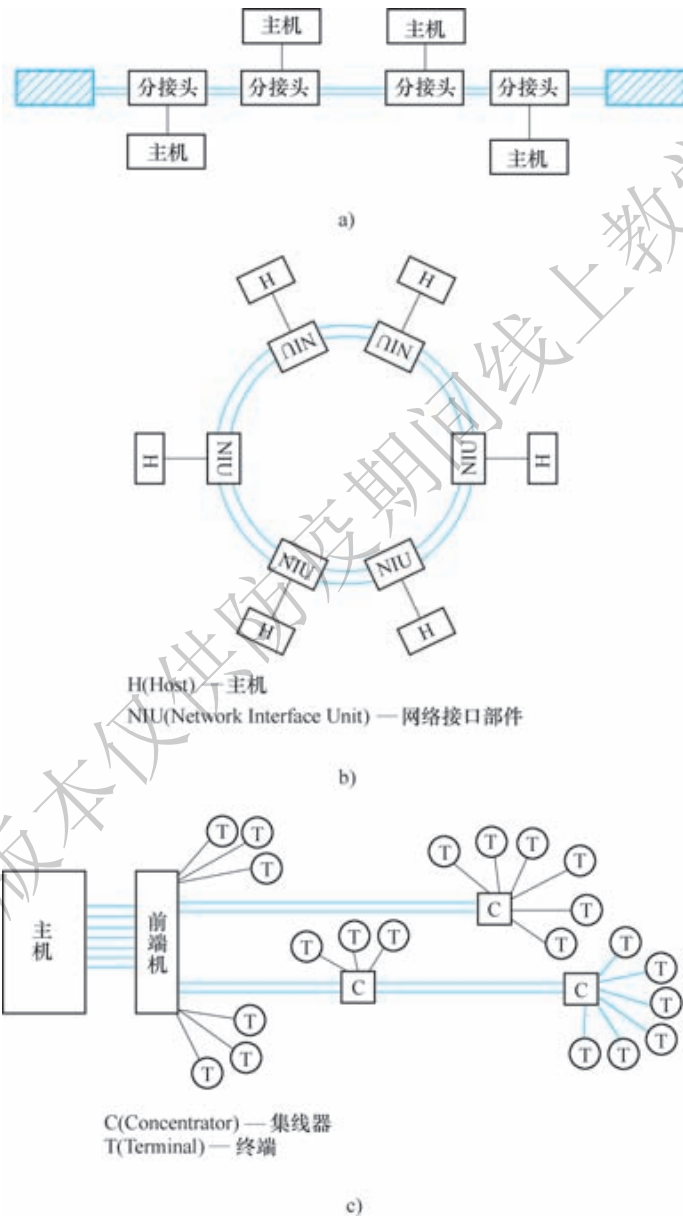


图 2-10 局域网拓扑结构

a) 总线型 b) 环形 c) 星形



(1) **总线型拓扑结构** 将各个节点和一根总线相连，网络结构简单、灵活，可扩充性好，可靠性高，资源共享能力强。但由于同环形结构一样采用共享信道，因此需解决多站争用总线的问题。CAN 总线采用这种结构。

(2) **环形拓扑结构** 网络中各节点通过一条首尾相连的通信链路连接而成一个闭合环形结构网，数据在环上单向流动。由于各节点共享环路，因此需要采取措施（如令牌控制）来协调和控制各节点的发送。其优点是无信道选择问题；缺点是不便于扩充，系统响应延时长。

(3) **星形拓扑结构** 每个节点均以一条单独信道与中心节点相连，中心节点是通信控制中心。其优点是建网容易，控制简单；缺点是网络共享能力差，可靠性低，若中心节点出现故障，会导致全网瘫痪。

4. 网络互联

网络互联是指处于同一地域或不同地域的同类型或不同类型网络之间通过中间设备的互联，以实现网络资源共享。ISO 将其定义为中继系统。根据中继系统工作在 ISO/OSI/RM 的 7 层模型的层次不同，将互联划分为 4 层，即物理层、数据链路层、网络层和传输层及传输层以上，与之对应的网络互联设备分别是中继器（Repeater）、网桥（Bridge）、路由器（Router）和网关（Gateway）。

(1) **中继器** 中继器又称为转发器，在两个节点的物理层上按位传递信息，完成信号的复制、调整和放大，以此延长网络的长度。中继器由于不对信号进行校验等其他处理，因此即使是差错信号中继器，也可整形放大。中继器两端连接的传输介质可以相同，也可以不同。网络中加入中继器的个数受限制。

(2) **网桥** 网桥又称为桥接器，它在数据链路层上对帧进行存储转发。网桥接收一个整帧，并将其向上传送到数据链路层检测校验，再向下传送到物理层，通过传输介质送到另一个子网或网段。网桥通过对帧进行检测，能过滤出错帧。网络上适当使用网桥，可调整网络的负载，提高整个网络的传输性能。

(3) **路由器** 路由器在网络层上实现多个网络互联，对分组信息进行存储转发。路由器比网桥更复杂，管理功能更强，但更具灵活性，经常被用于多个局域网、局域网与广域网以及异构网络的互联。经过路由器的每个数据分组，按某种路由策略选择一条最佳路由，并将该数据分组转发出去。网络中的路由器能定时更新或动态更新，以保持路由信息有效。此外，路由器还具有协议转换、分组分段和组装、过滤、介质转换、流量控制和网络管理等功能。将网桥和路由器组合在一起称为桥路由器，桥路由器既可作为网桥使用，也可作为路由器使用。

(4) **网关** 一辆汽车可能采用多条不同的通信协议或不同传输速度的数据总线，模块之间不能完全实现信息共享，在两条总线之间进行数据转换时，需要采用网关来完成。网关又称为网间连接器和协议转换器，能将采用不同通信协议或不同传输速率的模块间的信息进行解码，重新编译，再将数据传输到不同的系统。网关好比铁路站台，如图 2-11 所示。在铁路站台 A，一辆载有数百名乘客的高速火车到达（驱动 CAN 总线，速率为 500kbit/s）；在铁路站台 B，轻轨列车在等候（舒适/信息 CAN 总线，速率为 100kbit/s），数名乘客从高速火车换乘轻轨列车，也有数名乘客由轻轨列车换乘高速火车。

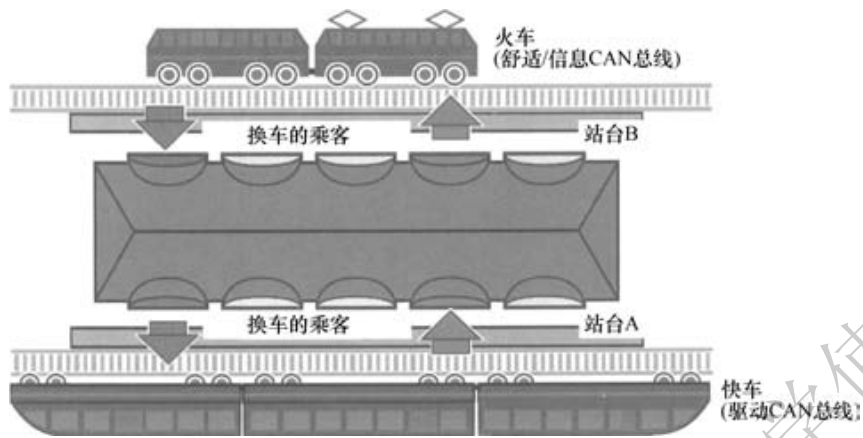


图 2-11 网关原理图

网关可以将局域网上的数据转变成可以识别的诊断数据语言，以便于诊断；可以实现低速网络和高速网络的信息共享；负责接收和发送信息；激活和监控局域网的工作状态；实现汽车网络系统内数据的同步，对信息标识符进行翻译。

5. 数据传输

(1) 串行传输与并行传输 串行传输的数据是一位一位地在设备间进行传输，在发送端需将并行数据位流变成串行数据位流，然后发送到传输信道上，在接收端要将从传输信道接收到的数据位流变换成并行数据位流，如图 2-12 所示。当并行传输时，多个位在设备间同时传输，串行传输的速度比并行传输要慢得多，但费用低，通常传输距离较远的数字通信系统多采用串行传输，而并行传输的速度高，但设备费用也高，适用于近距离传输，如图 2-13 所示。



图 2-12 串行传输

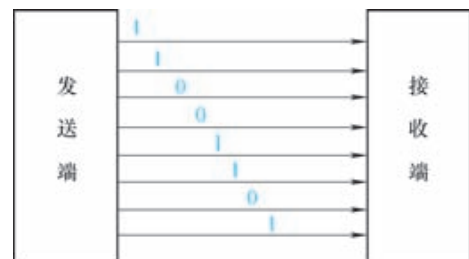


图 2-13 并行传输

(2) 同步传输与异步传输 同步传输方式各字符没有起始位和结束位，采用按位同步的原则。位同步，即接收端接收的每一位数据信息都要和发送端准确地保持同步，如图 2-14 所示。异步传输要求发送端与接收端必须保持一个群内的同步，如图 2-15 所示。异步传输方式实现简单，但传输效率低。同步传输方式对发送端和接收端的要求较高，由于取消了每个字符的起始位和结束位，传输效率高于异步传输方式，适用于高速数据通信。

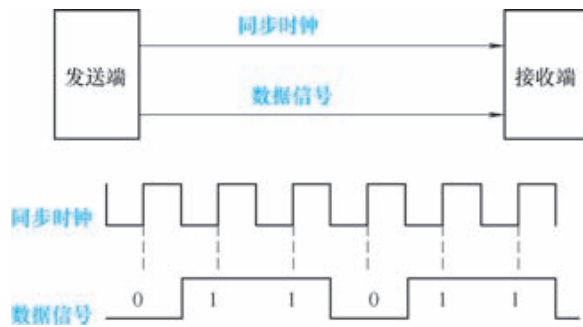


图 2-14 同步传输



图 2-15 异步传输

(3) **多路传输** 在同一条通信线路上，实现同时传送多路信号。多路传输系统 (Smart Wiring System, SWS) 又称为聪明线路系统或多路通信系统。

多路传输是在同一通道或线路上同时传输多条信息，如图 2-16 所示。其实，数据是依次传输的，但传输速度非常快，近似于同时传输。多路传输系统是完成某一特定功能的电路或装置。运用多路传输技术，可以使汽车省去许多连接接头，减小质量，节省空间，并提高可靠性。

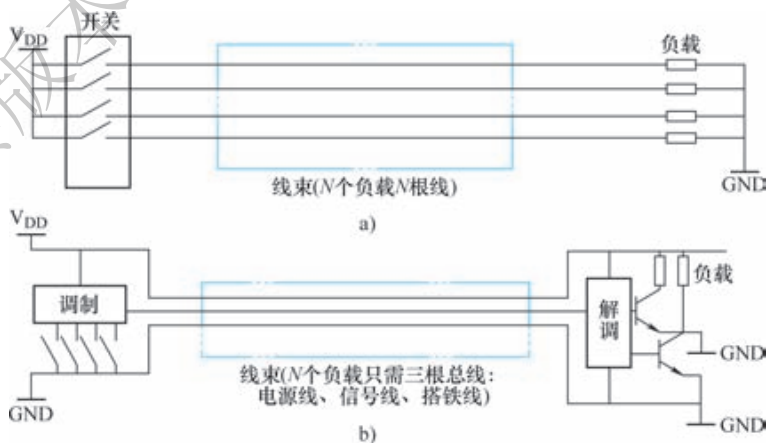


图 2-16 常规线路与多路传输线路对比

a) 常规传输方式 b) 多路传输系统

汽车多路传输系统可分为时分多路复用 (TDM)、频分多路复用 (FDM) 和波分多路复用 (WDM) 3 种类型。

1) 时分多路复用是在传输时将时间分成小的时间段, 每一时间段由复用的一路信号占用, 各路信号在微观上串行传送, 宏观上并行传送。汽车上采用的是单线制或双线制时分多路传输系统。

2) 频分多路复用是将多路信号分别调制到互不交叠的频段进行传输, 各路信号在微观上并行传送。缺点是各路信号之间易互相干扰, 多用于模拟通信。

3) 波分多路复用是在光波频率范围内, 将不同波长的光波, 按一定间隔排列在一根光纤中传送。

6. 链路 (数据传输介质)

链路指网络数据传输的介质, 是在通信的发送方和接收方之间传输电信号的物理介质, 其性能影响到数据传输速率、通信距离、数据传输的可靠性、成本和安装维护的难易程度等。传输介质有双绞线、同轴电缆、光纤、微波、红外线和卫星等, 其中双绞线、同轴电缆和光纤最常用。数据传输介质的特点见表 2-3。

表 2-3 数据传输介质的特点

媒 体	信号类型	数据最大传输速度 /(Mbit/s)	最大传输距离/km	联网设备数
双绞线	数字	1~2	0.1	几十
同轴电缆 (50Ω)	数字	10	0.185	几百
同轴电缆 (75Ω)	数字	50	1	几十
同轴电缆 (75Ω)	模拟	20	10	几千
同轴电缆 (75Ω)	单信道模拟	50	1	几十
光纤	模拟	100	1	几十

(1) 双绞线 如图 2-17 所示, 双绞线能传输模拟信号和数字信号, 通信距离可达几到十几千米, 当通信距离长时, 要加放大器或中继器。双绞线电缆中封闭着一对或一对以上的双绞线, 在其外面再包上硬的护套。每一对双绞线由两根绝缘铜导线按一定密度互相绞合在一起, 以减少信号干扰。每根铜导线的绝缘层上分别涂以不同的颜色, 以示区别。



图 2-17 双绞线

(2) 同轴电缆 如图 2-18 所示, 同轴电缆由内导体铜芯线、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层及塑料保护层构成, 铜芯线与网状导体同轴。同轴电缆的屏蔽性能和抗干扰性能优于双绞线, 具有较高的带宽和较低的误码率。通常传输速率越高, 传输距离越短。

(3) 光纤 如图 2-19 所示, 光纤没有网状屏蔽层, 中心是光传播的玻璃芯。多条光纤组成一束构成光纤电缆。光纤传输信号不受电磁干扰影响, 其传输频带非常宽、数据传输速率非常高、误码率很低、传输损耗小、中继距离长、抗电磁干扰性能强、保密性



好、重量轻、体积小，因此光纤是数据传输中最有效、最有前途的一种传输介质。

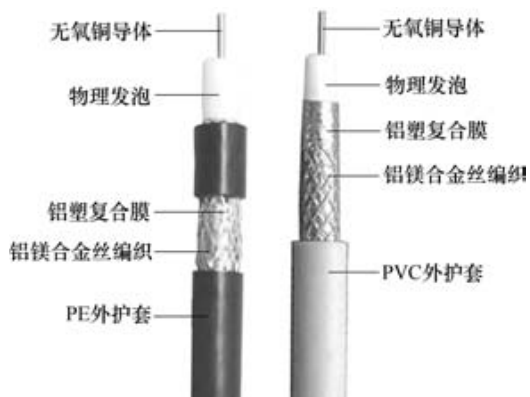


图 2-18 同轴电缆

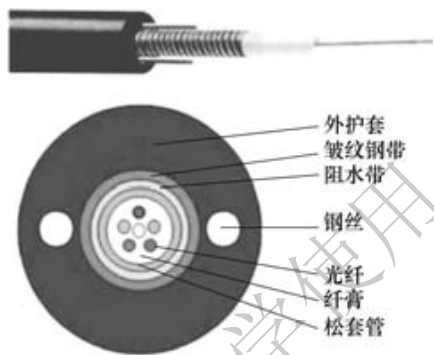


图 2-19 光纤

7. 报文及帧

若要在 CAN 局域网内有效、快速地传输信息，需将信息转化成适合 CAN 总线传输的格式。信息即称为报文（Messages），适合 CAN 总线传输的格式称为报文格式。

总线的信息以不同的固定报文格式发送，但长度受限。当总线空闲时，任何连接的单元都可以开始发送新报文。报文传输由数据帧、远程帧、过载帧和错误帧表示和控制。

为了可靠地传输数据，通常将原始数据分割成一定长度的数据单元，该数据单元称为帧。一帧内应包括同步信号（如帧起始和帧结束）、错误控制（各类检错码或纠错码，大多数采用检错重发的控制方式）、流量控制（协调发送方与协调方的速率）、控制信息、数据信息、寻址（在信道共享的情况下，保证每一帧都能正确地到达目的站，接收方也能知道信息来自何站）等。

帧有两种不同的帧格式：具有 11 位识别符的帧称为标准帧，具有 29 位识别符的帧称为扩展帧。帧按照携带的信息类型可分为以下 4 种帧格式：

- (1) **数据帧** 数据帧携带数据，将数据从发送器传输到接收器。
- (2) **远程帧** 远程帧由总线单元发送，用于请求发送具有相同识别符的数据帧。
- (3) **过载帧** 过载帧用于在先行和后续的数据帧（或远程帧）之间提供一附加的延时。
- (4) **错误帧** 任何单元检测到总线错误，就发出错误帧。

数据帧或远程帧通过帧间空间（Interframe Space）与前述的各帧分开，无论其前面的帧为何种类型，过载帧与错误帧之前没有帧间空间，多个过载帧之间也不是由帧间空间隔离的。

8. 通信协议

要实现汽车内各电控单元之间的通信，必须制订规则保证通信双方能相互配合，其通信方法、通信时间和通信内容是通信双方同样能遵守、可接受的一组规定和规则，即通信协议——通信实体双方控制信息交换规则的集合。数据总线的通信协议采用优先权的处理机制。

9. 传输仲裁

当出现数个使用者同时申请利用总线发送信息时，会发生数据传输冲突，好比同时有两个或多个人想过独木桥一样。传输仲裁是为了避免数据传输冲突，保证信息按其重要程度发送。如图 2-20 所示，在总线空闲状态时，最先开始发送数据的模块获得发送权；当多个模块同时开始发送时，模块 1 和模块 2 从信息中包含的仲裁段的第一位开始进行仲裁。连续输出显示电平（即低电压，数值为 0）最多的模块 2 仲裁胜出，可减少发送信息。仲裁失利的模块 1 从下一位开始转为接收状态，等待模块 2 发送完信息后再重新发送信息。

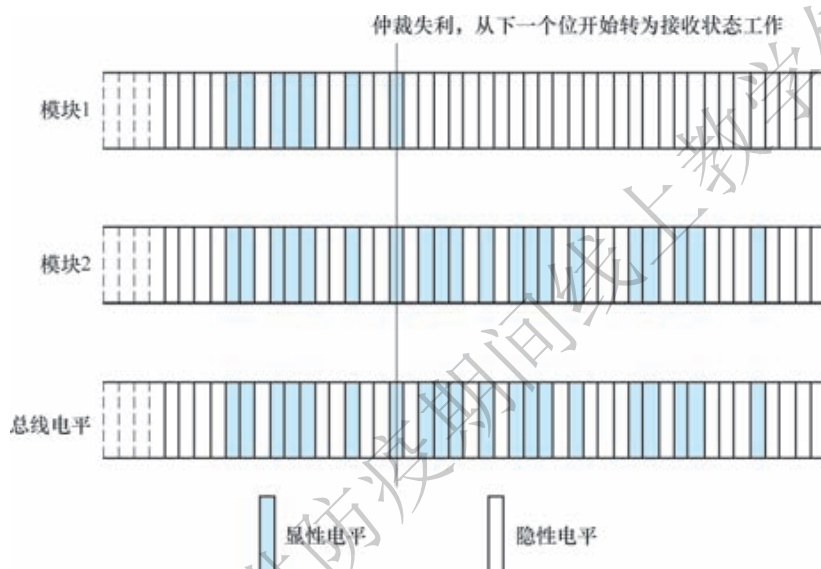


图 2-20 传输仲裁的过程

10. 架构

网络有特定的通信协议称为架构，架构在其输入端和输出端规定能进和能出的信息。架构通常包括 1~2 条线路，采用双线时数据的传输基于两条线的电位差，采用 1 条线传输数据时，对搭铁有个参考电压。

11. 模块/节点

模块即一种电子装置，如温度传感器、压力传感器或计算机（微处理器）等。在多路传输系统中一些简单的模块被称为节点。

12. 集线器

集线器（HUB）相当于一个有多个端口的中继器，随机选出某一端口，并独占全部带宽，与集线器的上连设备（如交换机、路由器或服务器）进行通信。集线器分为无源集线器、有源集线器、智能集线器和交换式集线器。无源集线器只将传输介质连接在一起，从一个端口接收数据，然后向所有端口广播。有源集线器具有支持多种传输介质、信号放大、检测和修复数据等功能。智能集线器除具有有源集线器的全部功能外，还有网络管理等智能化功能。交换式集线器可均衡网络负载和提高网络可用带宽。



13. 分总线

分总线是指从主总线分出至电控单元或传感器的线束。

14. 主总线

主总线是指总线（通信线路）中两个终端电路间的线束，是 CAN 通信系统的主总线。

15. 数据传递终端

数据传递终端是一个电阻器，可防止信号在传输线终端被反射，并以回波的形式返回，影响数据的正确传送。终端电阻安装在 CAN 总线的各个模块内，如图 2-21 所示。

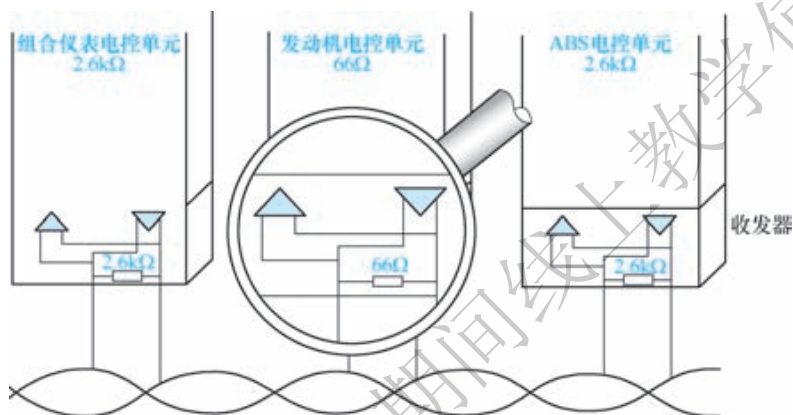


图 2-21 终端电阻

16. 终端电路

终端电路是将 CAN 通信电流转换成总线电压而设置的电路，由电阻器和电容器组成。在一条总线上需要两个终端电路。CAN J/C 是为 CAN 通信设计的插接器，用来存储终端电路。

第四节 汽车网络参考模型

为实现不同制造商的计算机相互通信，国际标准化组织（ISO）制定了“开放系统互联参考模型（ISO/OSI）”。1983 年正式成为国际标准，即 ISO 7498。我国相应的标准为 GB/T 9387.1—1998。ISO/OSI 参考模型分为 7 层，即物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层，如图 2-22 所示，其说明见表 2-4。

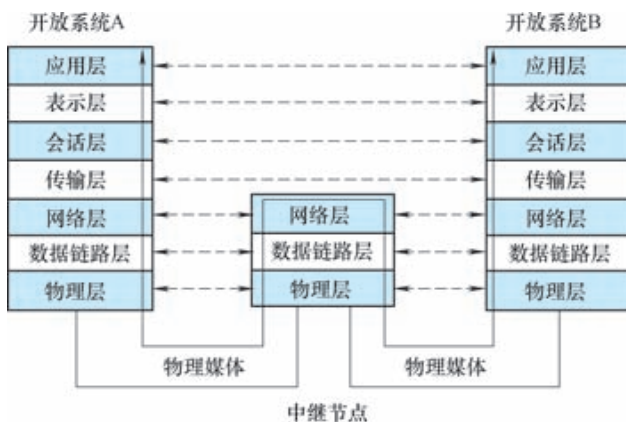


图 2-22 ISO/OSI 参考模型



表 2-4 开放系统互联参考模型

ISO/OSI 参考模型		各层定义的主要项目
软件控制	7层 应用层	提供各种实际可应用的服务
	6层 表示层	对数据的表现形式进行变换,如文字调整、数据压缩与加密
	5层 会话层	为实现会话通信,按正确顺序控制数据的发送与接收
	4层 传输层	保证按顺序控制数据及更正错误等通信品质,如纠正错误、重新发送控制
	3层 网络层	选择数据的传输途径和中转,如电控单元之间的数据交换及地址管理
硬件控制	2层 数据链路层	将从物理层获得的信号(字符集)汇总成具有某种意义的数,提供控制顺序,以便对控制传输错误等数据加以传输,如访问时的方法及数据形式、通信方式、连接控制方式、同步方式、错误检测方式、响应方式、通信方式、帧的构成、组帧方式
	1层 物理层	规定通信时所使用的电缆、插座等,媒体、信号的标准等,以实现设备之间的信号交换,如信号电平、发送与接收、电缆及插座等形式

第五节 车载网络分类和通信协议标准

一、车载网络分类

计算机互联网络的主要类型如图 2-23 所示。

目前汽车网络标准形式多样,其侧重的功能也有所不同,为方便研究和设计应用,SAE 车辆网络委员会按照系统的信息量、响应速度和可靠性等要求,将车载网络系统分为 A 类、B 类、C 类和 D 类。

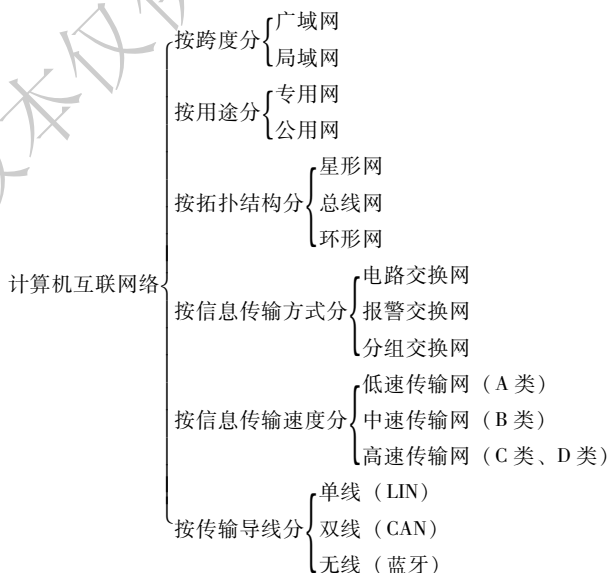


图 2-23 计算机互联网络的主要类型



通常，A类网络系统不单独使用，而是与B类网络系统结合使用。满足C类网络要求的汽车控制器局域网只有CAN协议。每类网络功能均向下涵盖，即B类网络支持A类网络的功能，C类网络能同时实现B类网络和A类网络的功能。

目前，车身和舒适性电控单元都连接到CAN总线上，并借助于LIN总线进行外围设备控制。而汽车高速控制系统，通常会使用高速CAN总线连接在一起。远程信息处理和多媒体连接需要高速互联，视频传输又需要同步数据流格式，这些都可由DDB或MOST协议来实现。无线通信则通过蓝牙（Bluetooth）技术加以实现。

但是，至今仍没有一个通信网络可以完全满足未来汽车的所有成本和性能要求。因此，汽车制造商和OEM（Original Equipment Manufacture，原始委托制造）商仍将继续采用多种协议（包括CAN、LIN、MOST等），以实现汽车上的网络信息传递。

二、通信协议标准

1. 通信协议

(1) 通信接口与实体 两个系统的设备或部件之间连接服务的数据流穿越的界面称为接口，汽车电控单元之间的通信接口由设备（部件）和有关规定说明组成，通常包括以下四个方面：

1) 物理方面：指插接器的结构形式。

2) 电气方面：指接口的电路信号电压及变化特征。

3) 逻辑方面：指如何将数据位或字符变成字段，说明传输控制字符的功能和使用。通信接口逻辑说明是一种控制和实现穿越接口交换数据流的语言。

4) 过程方面：指规定通信过程控制字符的顺序、各种字段法定内容，以及控制数据流穿越接口的命令和应答。如果将逻辑说明看成确定数据流穿越接口的语法，则过程说明即可作为语言。

在计算机网络内，不同系统中的实体需要通信。通常，将能够发送或接收信息的硬件或软件进程称为实体，如用户应用程序、文件传送程序包、进程、数据库管理系统、电子邮件设施及终端等。系统包含一个或多个实体，如计算机、终端设备和遥感装置等。

(2) 协议的含义 两个实体若要成功地通信，则必须“说同样的语言”。在通信内容、通信方式以及通信时间等方面，两个实体要遵守相互可以接受的一组约定和规则，这些约定和规则的集合称为协议。

(3) 协议的三要素

1) 语法。确定通信双方之间“如何讲”，即由逻辑说明构成，要对信息或报文中各字段格式化，说明报头（或标题）字段、命令和应答的结构。

2) 语义。确定通信双方之间“讲什么”，即由过程说明构成，要对发布请求、执行动作以及返回应答进行解释，并确定用于协调和差错处理的控制信息。

3) 定时规则。指出事件的顺序以及速度匹配、排序。

(4) 协议内容

1) 在一个简单的通信协议中，电控单元不分主、从，根据优先规则，电控单元之间相互传递信息，并确定接收何种信息。



2) 一个电控单元是主电控单元,其他则为从属电控单元。根据优先规则,主电控单元决定哪个从属电控单元发送信息以及何时发送信息。

3) 电控单元像旋转木马上的骑马人,一个上面有“免费券”的挂环绕其旋转,任何一个需要该信息电控单元都可以将其从挂环上取下。

4) 通信协议中的仲裁系统按照每条信息的数字拼法及数据传输设定优先规则,如以1结尾的数字信息要比以0结尾的优先级高。

(5) 协议功能 控制两个实体的对话过程,检测对话过程中出现的差错,并确定处理策略。大多数协议都是专用的,用于特定的目的,所以各协议的功能不同,但一些公共功能是大多数协议都有的。

1) 差错检测和纠正。面向通信传输的协议常使用“应答-重发”、循环冗余检验、软件检查等机制进行差错检测和纠正,而面向应用的协议常采用重新同步、恢复以及托付等更高级的方法进行差错的检测和纠正。通常,协议中对异常情况的处理说明要占很大的比例。

2) 分块和重装。用协议控制进行传送的数据长度有一定限制,参加交换的数据要求有一定格式。因此,需要将实际应用中的数据进行加工处理,使之符合协议交换时的格式要求,从而应用协议进行数据交换。分块是将大的数据划分成若干小块,如将报文划分成几个报文分组;重装是将划分的小块数据重新组合复原,如将报文分组还原成报文。

3) 排序。对发送出的数据进行编号,以标识其顺序,实现按序传递、信息流控制和差错控制等目的。

4) 流量控制。通过限制发送的数据量或速率,防止在信道中出现堵塞现象。

(6) 协议类别 根据特性不同,协议可分为直接型/间接型、单体型/结构化型、对称型/不对称型、标准型/非标准型。

1) 直接型/间接型。两个实体间的通信可以是直接的,也可以是间接的。例如,两个系统若共享一个“点-点”链路,则系统中的实体可直接通信,此时数据和控制信息直接在实体间传递,而无任何中间的信息处理装置,所需要的协议属于直接型。

如果系统经过转接式通信网或两个以上网络串接的通信网,两个实体要交换数据必须依赖于其他实体的功能,则属于间接通信。此时设计协议时,要考虑对中间系统了解的程度,因而较为复杂。

2) 单体型/结构化型。在两个实体间通信任务比较简单的情况下,采用单一协议控制通信,该协议称为单体型协议。

计算机网络内实体间通信任务很复杂,以至于不能作为一个单体处理。面临复杂的情况,可采用结构化型协议,即以展示为层次或分层结构的协议集合来代替单体型协议。此时,较低层次或较低级别的功能在较低层次的实体上实现,并向较高层次的实体提供服务,即较高层次的实体依靠较低层次的实体交换数据。

3) 对称型/不对称型。大部分的协议属于对称型,即在同等的实体之间通信。不对称的协议可能是为满足交换逻辑的要求(如一个“用户”进程和一个“服务”进程),或尽可能使实体或系统保持简单。

4) 标准型/非标准型。一个部门或一个国家都希望制定标准协议,促进组建计算机



网络和分布处理系统。非标准型协议一般都是发展中的产物，或者为特定通信环境所设计。

(7) **常用通信协议** 目前，汽车多路传输系统中采用的通信协议主要有 8 种，见表 2-5。

表 2-5 8 种典型的通信协议

序号	协议名称	推荐或实施单位
1	CAN	奔驰、英特尔、博世、SAE、ISO/TC22/SC3/WG1
2	BASIC CAN	飞利浦、博世
3	ABUS	大众
4	VAN	雷诺、标致、雪铁龙、ISO/TC22/SC3/WG1
5	HBCC	福特、SAE J1850
6	PALMNET	马自达、SAE
7	DLCS	通用
8	CCD	克莱斯勒、SAE

除上述 8 种通信协议外，还有以下几种协议：

- 1) 宝马公司 1994 年提出的 DAN 集中式网络协议。
- 2) 阿尔法·罗密欧公司的 DAN 集中式网络协议。
- 3) 卢卡斯 (Lucas) 公司的光学分布式星形耦合器系统。
- 4) 日立公司的集中式光学单纤维双向通信。
- 5) 飞利浦公司的 DDR 分布式网络协议。

到目前为止，世界上尚无一个可以兼容各大汽车公司通信协议的通用标准，因此，汽车上形成了多种类型的多路通信系统共存的局面。

2. 车载网络协议标准

各类典型汽车总线标准、协议特性和参数见表 2-6。

表 2-6 各类典型汽车总线标准、协议特性和参数

类别	A 类	B 类	C 类				D 类
			CAN	安全	X-by-Wire	诊断	多媒体
名称	LIN	ISO 11519—2	ISO 11898 SAE J1939	Safety Bus	FlexRay	ISO 15765	DDB (MOST)
所属机构	Motorola	ISO/SAE	ISO/TMC-ATA	Delphi	BMW&DC	ISO	Philips
用途	智能传感器	控制、诊断	控制、诊断	SRS	线控制	诊断	数据流控制
介质	单根线	双绞线	双绞线	双线	双线	双绞线	光纤
位编码	NRZ	NRZ-5	NRZ-5	RTZ	NRZ	NRZ	Biphase
媒体访问	主/从	竞争	竞争	主/从	FTDMA	Testenr/Slave	Tokenring
错误检测	8 位 CS	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC
数据长度/B	8	0~8	8	24~39	12	0~8	—

(续)

类别	A类	B类	C类				D类
			CAN	安全	X-by-Wire	诊断	多媒体
传输速率/(bit/s)	20k	10~125k	250~1000k	5k~10M	5M	10~250k	12~400M
总线最长/m	40	40	40	未定	无限制	40	无限制
最多节点/个	16	32	32 (STP) 10 (UTP)	64	64	32	24
成本	低	中	中	中	中	中	高

(1) A类总线协议标准 面向传感器和执行器控制的低速网络,数据传输速率通常只有1~10kbit/s。网络协议种类主要有LIN、UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 和CCP等,适用于对实时性要求不高的场合,主要应用于车身控制,如电动门窗、中央门锁、后视镜、座椅调节、灯光照明及早期的汽车故障诊断等。

A类网络通信大部分采用UART标准。UART使用简单且经济,但随着技术的发展,预计今后将会逐步在汽车通信系统中停止使用。丰田公司制定的通信协议BEAN (Body Electronics Area Network) 目前仍在其多种车型中应用。

A类网络目前首选的标准是LIN总线。LIN总线是用于汽车分布式电控系统的一种新型低成本串行通信系统,是一种基于UART的数据格式,主从结构的单线12V的总线通信系统,主要用于智能传感器和执行器的串行通信,这是CAN总线的带宽和功能不要求的部分。由于目前尚未建立低端多路通信的汽车标准,因此LIN正试图发展成为低成本的串行通信的行业标准。

LIN标准简化了现有的基于多路解决方案的低端SCI (串行通信接口),同时将降低汽车电子装置的开发、生产和服务费用。LIN采用低成本的单线连接,传输速率最高可达20kbit/s,对于低端的大多数应用对象,该速度可以接受。其媒体访问采用单主/多从机制,无须进行仲裁,从节点不需要晶体振荡器即能进行自同步,极大地减少了硬件平台的成本。

A类总线及特征见表2-7。

(2) B类总线协议标准 面向独立电控单元之间数据共享的中速网络,传输速率一般为10~100kbit/s。主要应用于车辆电子信息中心、故障诊断、SRS和组合仪表等,以减少冗余的传感器和其他电子部件。网络协议种类主要有ISO 11898—1、J2284、VAN和J1850 (OBD-II) 等。

B类网络的国际标准是CAN总线。CAN总线是德国博世公司从20世纪80年代初为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换问题而开发的一种串行数据通信协议,是一种多主总线,通信介质可以是双绞线或同轴电缆。CAN总线通信接口中集成了CAN协议的物理层和数据链路层功能,可完成对通信数据的成帧处理,包括位填充、数据块编码、循环冗余检验和优先级判别等工作。数据段长度最多为8个字节,不会占用总线时间过长,从而保证了通信的实时性。CAN协议采用CRC检验,并可提供相应的错误处理功能,保证了数据通信的可靠性。



表 2-7 A 类总线及特征

特征	名 称							
	UART	E&C	CCD	J1708	BEAN	ACP	SINEBUS	LIN
所属机构	通用汽车	通用汽车	克莱斯勒	SAE	丰田	福特	德特	摩托罗拉
用途	通用、诊断	通用	通用、诊断	控制、诊断	车身控制、 诊断	音频、控制	音频	智能传感器
使用年限	至 2005 年	至 2002 年	至 2002 年	至 2002 年	1995 年起	至 2002 年	2000 年起	2003 年起
传输媒体	单线	单线	单线	双绞线	单线	双绞线	单线	单线
位编码	NRZ ^①	PWM ^②	NRZ ^①	NRZ ^①	NRZ ^①	NRZ ^①	— ^③	NRZ ^①
媒体访问	主从	竞争	主从	主从	竞争	主从	主从	主从
检错方式	检验和	奇偶校验	校验和	校验和	CRC ^④	校验和	无	校验和
头长度/B	16	11~12	8	16	25	12~24	2	2
数据长度/B	0~85	1~8	5	—	1~11	6~12	10~18	8
位速率/(bit/s)	8192	1k	7812.5	9.6k	10k	9.6k	66.6~200	2k
总线最长/m	—	20	—	—	—	40	10	40
最多节点/个	10	10	6	—	20	20	—	16
成本	低	低	低	中	低	低	低	低

① NRZ: 不归零制 (Non-Return to Zero)。

② PWM: 脉宽调制 (Pulse Width Modulation)。

③ —: 不详或无明文规定。

④ CRC: 循环冗余检验 (Cyclic Redundancy Check)。

近年来, 基于 ISO 11519—2 的容错 CAN 总线标准在欧洲的各种车型中得到广泛应用, ISO 11519—2 的容错低速 CAN 总线接口标准在轿车中得到普及, 其物理层比 ISO 11898—1 要慢一些, 同时成本较高, 但其故障检测能力非常突出。与此同时, 以往广泛应用于美国车型的 J1850 正逐步被基于 CAN 总线的标准和协议所取代。

B 类总线及特征见表 2-8。

表 2-8 B 类总线及特征

特征	名 称				
	CMLAN (SWC ^①)	ISO 11898—1 ISO 11519—2 ISO 11992、J2284	J1850、ISO 11519—4		
所属机构	通用汽车	ISO/SAE	通用汽车	福特	克莱斯勒
用途	诊断	控制、诊断	通用、诊断	通用、诊断	通用、诊断
使用年限	2002 年起	2001 年起	至 2002 年		
传输媒体	单线	双绞线	单线	双绞线	单线

(续)

特征	名 称				
	CMLAN (SWC ^①)	ISO 11898—1 ISO 11519—2 ISO 11992、J2284	J1850、ISO 11519—4		
位编码	NRZ-5	NRZ-5	VPW ^②	PWM	VPW
媒体访问	竞争	竞争	竞争	竞争	竞争
检错方法	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC
头长度/B	11	11 或 29	32	32	8
数据长度/B	0~8	0~8	0~8	0~8	0~10
位速率/(kbit/s)	33.33	10~125	10.4	41.6	10.4
总线最长/m	30	40 (典型)	35	35	35
最多节点/个	16	32	32	32	32
成本	低	中	低	低	低

① SWC：单线 CAN (Single-Wire CAN)。

② VPW：可改变脉宽调制 (Variable Pulse Width Modulation)。

(3) C类总线协议标准 面向高速、实时闭环控制的多路传输，最高传输速率可达1Mbit/s，主要用于发动机、ABS/ASR、悬架等控制。网络协议种类主要有ISO 11898—1 (高速CAN)、TTP/C和FlexRay等。随着汽车网络技术的发展，将会使用具有高速实时传输特性的一些总线标准和协议，包括采用时间触发通信的X-by-Wire系统总线标准和用于安全控制和诊断通信的总线标准、协议。

1) CAN总线协议标准。欧洲汽车制造商基本上采用高速通信的CAN总线标准ISO 11898，而J1939用于货车、大客车以及农业设备上的高速通信标准，支持分布在车辆各个不同位置的电控单元之间实现实时闭环控制功能，其数据传输速率为250kbit/s。美国通用汽车公司已开始在所有的车型上使用其专属的GM LAN总线标准，它是一种基于CAN的传输速率为500kbit/s的通信标准。

ISO 11898针对汽车电控单元之间，通信传输速率大于125kbit/s，最高为1Mbit/s时，对使用CAN构建数字信息交换的相关特性进行了详细的规定。

CAN总线及特征见表2-9。

表 2-9 CAN 总线及特征

特 征	名 称		
	ISO 11898—1	J2284、GMLAN (高速部分)	J1939
所属机构	ISO	SAE、通用汽车	SAE
用途	控制、诊断	控制、诊断	控制、诊断
使用年限	1992年起	2002年起	1994年起
传输媒体	双绞线	双绞线	双绞线
位编码	NRZ-5	NRZ-5	NRZ-5
媒体访问	竞争	竞争	竞争



(续)

特 性	名 称		
	ISO 11898—1	J2284、GMLAN (高速部分)	J1939
检错方式	CRC	CRC	CRC
头长度/B	11 或 29	11 或 29	29
数据长度/B	0~8	0~8	8
位速率/(kbit/s)	1000	500	250
总线最长/m	40 (典型)	30	40
最多节点/个	32	16	30 (带屏蔽) 10 (无屏蔽)
成本	低	中	中

2) 安全总线和标准。安全总线主要是用于 SRS, 以连接加速度传感器和碰撞传感器等, 为被动安全提供保障。目前已有一些公司研制出相关的总线和协议, 包括德尔福公司的 SafetyBus 和宝马公司的 Byteflight 等。

Byteflight 主要以宝马公司为中心制定。数据传输速率为 10Mbit/s, 光纤长达 43m。Byteflight 不仅用于 SRS 的网络通信, 还用于 X-by-Wire 系统的通信和控制。宝马公司推出的 BMW7 系列车型, 采用 ISIS (Intelligent Safety Integrated System) 的 SRS 控制系统, 由 14 个传感器构成, 利用 Byteflight 连接和收集前座 SRS、后座 SRS 以及膝部 SRS 等信号。在紧急情况下, 中央电控单元能够更快、更准确地判定不同位置 SRS 的引爆范围与时机, 发挥最佳的保护效果。

车用安全总线及特征见表 2-10。

表 2-10 车用安全总线及特征

特 征	名 称					
	SafetyBus	BOTE	PLANET	DSI	Byteflight	BSRS
所属机构	德尔福	博世	飞利浦	摩托罗拉	宝马	西门子
使用年限	2002 年起	2002 年起	2002 年起	2002 年起	2002 年起	2002 年起
传输媒体	双绞线	双绞线	双绞线	双绞线	双绞线或三线	双绞线或三线
媒体访问	主从	主从	主从	主从	主从	主从
检错方式	CRC	—	—	—	—	—
头长度/B	1	—	—	—	1	—
数据长度/B	24~39	—	—	—	0~200	
位速率/(bit/s)	500k	31.25~125k	20~250k	5k	10M	250k
最多节点/个	64	12	64	16	—	—
成本	低	低	低	低	中	低

3) X-by-Wire 总线协议标准。X-by-Wire 称为线控技术, 由于目前对汽车容错能力和通信系统的高可靠性的需求日益增长, X-by-Wire 开始应用于汽车电子控制领域。X-by-

Wire 技术将使传统的汽车机械系统（如制动和驾驶系统）变成通过高速容错通信总线与高性能 CPU 相连的电气系统。在一辆装备了综合驾驶辅助系统的汽车上，如 Steer-by-Wire、Brake-by-Wire 和电子节气门控制等特性将为驾驶人带来全新驾驶体验。为了提供这些系统之间的安全通信，需要一个高速、容错和时间触发的通信协议。目前，这一类总线标准主要有 TTP（时间触发协议）和 FlexRay。

时间触发系统和事件触发系统的工作原理大不相同，时间触发系统的控制信号起源于时间进程，事件触发系统的控制信号起源于事件的发生（如一次中断）。TTP 创立了大量汽车 X-by-Wire 控制系统，如驾驶控制和制动控制。TTP 是一个应用于分布式实时控制系统的完整的通信协议，能够支持多种的容错策略，提供了容错的时间同步以及广泛的错误检测机制，同时还提供了节点的恢复和再整合功能。其采用光纤，传输速度将达到 25Mbit/s。

FlexRay 是一种新的特别适合下一代汽车应用的网络通信系统，采用 FTDMA（Flexible Time Division Multiple Access）的确定性访问方式，具有容错功能和确定的消息传输时间，能够满足汽车控制系统的高速率通信要求。宝马、戴姆勒-克莱斯勒、摩托罗拉和德尔福联合开发和建立了 FlexRay 标准，通用汽车公司也加入了 FlexRay 联盟，成为其核心成员，共同致力于开发汽车分布式控制系统中高速总线系统的标准。该标准不仅提高了一致性、可靠性、竞争力和效率，而且简化了开发和使用，降低了成本。

车用 X-by-Wire 总线及特征见表 2-11。

表 2-11 车用 X-by-Wire 总线及特征

特 征	名 称			
	TTP	TTCAN	Byteflight	FlexRay
所属机构	维也纳大学	SAE	宝马	宝马、戴姆勒-克莱斯勒
传输媒体	单线或双线	双绞线	双绞线或三线	双绞线
检错方式	CRC	CRC	CRC	CRC
数据长度/B	16	8	12	12
位速率/(Mbit/s)	—	1	10	5
成本	中	中	中	中

4) 诊断系统总线标准。故障诊断是现代汽车必不可少的一项功能，主要是为了满足 OBD-II（On Board Diagnostics）、OBD-III 或 E-OBD（European-On Board Diagnostics）标准。目前，许多汽车生产厂商都采用 ISO 14230（Keyword Protocol 2000）作为诊断系统的通信标准，它满足 OBD-II 和 OBD-III 的要求。在欧洲，以往诊断系统中使用的是 ISO 9141，是一种基于 UART 的诊断标准，满足 OBD-II 的要求。美国的通用、福特和克莱斯勒汽车公司广泛使用 J1850（不含诊断协议）作为满足 OBD-II 诊断系统的通信标准。但随着 CAN 总线的广泛应用，美国三大汽车公司将对乘用车采用基于 CAN 的 J2480 诊断系统通信标准，满足 OBD-III 的通信要求。从 2000 年开始，欧洲汽车厂商已经开始使用一种基于 CAN 总线的诊断系统通信标准 ISO/DIS 15765，以满足 E-OBD 的通信要求。

目前，汽车的故障诊断主要是通过一种专用的诊断通信系统来形成一套较为独立的诊



断网络，ISO 9141 和 ISO 14230 是该类技术较为成熟的诊断标准。而 ISO 15765 适用于将车用诊断系统在 CAN 总线上加以实现的场合，从而适应了现代汽车网络总线系统的发展趋势。ISO 15765 的网络服务符合基于 CAN 的车用网络系统的要求，是遵照 ISO 14230—3 及 ISO 15031—5 中有关诊断服务的内容制定的，因此，ISO 15765 对于 ISO 14230 应用层的服务和参数完全兼容，但并不限于只用在这些国际标准所规定的场合，因而有广泛的应用前景。

车用诊断总线及特性见表 2-12。

表 2-12 车用诊断总线及特性

特性	名 称						
	J1850、ISO 11519—4			J2480	ISO 9141	ISO 14230	ISO/DIS 15765
所属机构	通用汽车	福特	克莱斯勒	SAE	ISO		
用途	通用、诊断	通用、诊断	通用、诊断	诊断	诊断	诊断	诊断
使用年限	至 2002 年			2004 年起	1994 年起	2000 年起	2000 年起
传输媒体	单线	双绞线	单线	双绞线	K/L 线	K/L 线	双绞线
位编码	VPW	PWM	VPW	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ
媒体访问	竞争	竞争	竞争	诊断测试仪为主站，其余为从属节点			
检错方式	CRC	CRC	CRC	CRC	奇偶校验	校验和	CRC
头长度/B	32	32	8	—	—	16	11 或 29
数据长度/B	0~8	0~8	0~10	—	0~255	0~85	0~4095
位速率/(kbit/s)	10.4	41.6	10.4	—	小于 10.4	5~10.4	250、500
总线最长/m	35	35	35	—	—	—	40
最多节点/个	32	32	32	10	—	10	32
成本	低	低	低	低	低	低	高

(4) D 类总线协议标准 D 类网络称为智能数据总线 (IDB)，主要面向信息和多媒体系统等。D 类网络协议的速率为 250kbit/s~400Mbit/s。

D 类网络使用在信息多媒体系统中，多采用 DDB、MOST 光纤传输和 IDB-Wireless 无线通信技术，用于实时的音频和视频通信，如 MP3、DVD 和 CD 等。

DDB 是用于汽车多媒体和通信的分布式网络，通常使用光纤作为传输介质，可连接 CD 播放器、语音电控单元、电话和因特网。

MOST 是车辆内局域网的接口规格，用于连接车载导航器和无线设备等，数据传输速率为 24Mbit/s，其规格主要由德国 Oasis Silicon System 公司制定。

在无线通信方面，采用蓝牙规范，主要面向下一代汽车应用，如声音系统和信息通信等。目前已有一些公司研制出基于蓝牙技术的处理器，如美国德州仪器公司 (TI) 宣布推出一款新型基于 ROM 的蓝牙基带处理器，可用于通信及娱乐或 PC 外设等方面。

随着电子技术和大规模集成电路的迅速发展，网络技术在汽车上的广泛应用大大提高了汽车的动力性、操作稳定性和安全性，给汽车技术的发展注入了新的活力。

车用多媒体总线及特性见表 2-13。

表 2-13 车用多媒体总线及特性

特性	名 称							
	IDB-C	IDB-M	MOST	DDB		MML	USB	IEEE 1394
所属机构	SAE	SAE	飞利浦	飞利浦		德尔科	—	IEEE
用途	通信、娱乐	通信、娱乐	数据流、控制	数据流、控制		数据流、控制	计算机设备	计算机设备
使用年限	2002年起	—	2002年起	1999年起		2004年起	1998年起	2000年起
传输媒体	双绞线	光纤	光纤	双绞线	光纤	光纤	屏蔽双绞线	屏蔽双绞线
位编码	NRZ	—	双相	PWM	双相	NRZ	NRZ	NRZ
媒体访问	令牌槽	—	主从	主从	主从	主从	竞争	竞争
检错方式	CRC	—	CRC	奇偶校验	CRC	CRC	CRC	CRC
头长度/B	11	—	—	—	—	1	—	—
数据长度/B	8	—	—	—	—	0~200		—
位速率/(bit/s)	250k	400M	25M	29.8k	12M	110M	12M	98~393M
总线最长/m	—	—	不限	150	不限	10	—	72
节点最多/个	16	—	24	50	24	16	127	16
成本	低	高	高	高	高	高	中	中

第六节 汽车对通信网络的要求

连接到车载网络的各个电控单元按需要从总线上接收最新的信息，以驱动执行器，如匹配发动机转速传感器的电控单元，将发动机转速数据连续馈送至总线。另外，其他几个需要发动机转速数据的电控单元，只需从总线上接收发动机转速数据，接收到的最新数据为现行数据，并将其存储在 RAM 区，对这些数据按各自的类型赋值。因此，RAM 总有一个更新的数据复制并存储在其中，再通过应用，使电控单元获取最新的数据。

汽车电控单元之间的数据传输频率是变化的。在一个完善的汽车电子控制系统中，许多动态信息必须与车速同步。为了满足各子系统的实时性要求，有必要对汽车公共数据实行共享，如发动机转速、车轮转速和加速踏板位置等，但每个电控单元对实时性的要求因数据的更新速率和控制周期不同而不同。例如，一个 8 缸柴油机以 2400r/min 的转速运行，则电控单元控制两次喷射的时间间隔为 6.25ms。其中，喷射持续时间为 30° 的曲轴转角（2ms），在剩余的 4.25ms 内需完成转速测量、油量测量、A-D 转换、工况计算和执行器的控制等一系列过程。这说明数据发送与接收必须在 1ms 内完成，才能达到发动机控制的实时性要求。

可见，数据交换网基于优先权竞争，且本身具有极高的通信速率。不同参数应具有不同的通信优先权，几种典型参数的允许响应时间见表 2-14。



表 2-14 几种典型参数的允许响应时间

参 数	允许响应时间
发动机喷油量	10ms
发动机转速	300ms
车轮转速	1 ~ 100s
进气温度	20s
冷却液温度	1min
燃油温度	10min

本章小结

过程控制经历了模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统、集散控制系统和现场总线控制系统四个阶段，现场总线技术的出现，标志着自动化新时代的开始。常见的现场总线有 FF、Profibus、LonWorks、CAN、DeviceNet 和 ControlNet。

汽车网络标准形式多样，SAE 将车载网络系统分为 A 类、B 类、C 类和 D 类。A 类网络面向传感器和执行器控制的低速网络，如 LIN 总线；B 类网络面向独立电控单元之间数据共享的中速网络，如 CAN 总线；C 类网络面向高速、实时闭环控制的多路传输，如 X-by-Wire 系统总线；D 类网络为智能数据总线，主要面向信息、多媒体系统等，如 MOST、蓝牙等。

复习思考题

1. 简述现场总线的功用和特点。
2. 对常见的现场总线进行性能比较。
3. 简述车载网络的结构与组成。
4. 简述网络拓扑结构的类型和特点。
5. 简述网络互联设备的功能和特点。
6. 简述数据传输介质的类型和特点。
7. 数据传输终端有何作用？
8. 简述汽车网络参考模型各层定义的主要项目。
9. 车载网络如何分类？
10. 简述通信协议的三要素。
11. 简述通信协议的功能和类别。
12. 简述车载网络协议标准各种类型的特点和应用范围。
13. 汽车对通信网络有哪些要求？

第三章

控制器局域网

第一节 概述

CAN 是控制器局域网（Controller Area Network）的缩写，是指电控单元通过车载网络交换数据。CAN 是德国博世公司为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的一种串行数据通信协议，取得了国际标准化组织（ISO 11898）的认证，被世界各大汽车公司广泛应用，是国际上应用最广泛的现场总线之一。

一、CAN 总线的特性

(1) CAN 总线符合国际标准 便于一辆车上不同生产厂家的电控单元间进行数据交换。

(2) 多主方式 CAN 为多主方式工作，网络上任意一节点均可在任意一时刻主动地向网络上其他节点发送信息，而不分主从。

(3) 标志符报文 报文是网络中交换与传输的数据单元，即节点一次性要发送的数据块。为了解决 CAN 网络中多个节点在同一时刻向总线发送报文的先后顺序问题，通过在报文上加标志符，即可将 CAN 上的多个节点分成不同的优先级，满足不同的实时需要，优先级高的数据最多可在 $134\mu\text{s}$ 内得到传输。

(4) 总线仲裁技术 当 CAN 网络中多个节点在同一时刻向总线发送报文产生冲突时，优先级较低的节点会主动退出发送，而最高优先级的节点不受影响继续传输数据，大大节省了总线冲突仲裁时间。即使网络负载很大，也不会使网络瘫痪。大部分 CAN 在丢失仲裁或出错时，具有信息自动重发功能。

(5) 数据传输方式 CAN 节点只需要通过对报文的标志符滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传送接收数据。

(6) 节点数 CAN 总线可同时连接多个节点，且节点总数理论上没有限制，但实际上受总线上的时间延迟及电气负载限制。减慢通信速度，可连接的节点数增加；提高通信速度，则可连接的节点数减少。CAN 总线上的节点数目前最多可达 110 个。

(7) 帧结构 在 CAN 2.0B 的版本协议中有两种不同的帧格式，不同之处为标志符域的长度不同，含 11 位标志符的帧称为标准帧，含 29 位标志符的帧称为扩展帧。CAN 的报文采用短帧结构，传输时间短，实时性好，抗干扰能力强，确保数据出错率极低。

(8) 校验及检错 CAN 的每帧信息都有 CRC 校验及其他检错措施，错误检测校正能力强，系统可靠性高。CRC 即循环冗余校验码，是数据通信领域中最常用的一种差错校



验码，其信息字段和校验字段的长度可任意选定。

(9) **通信介质** CAN 通信介质可以为双绞线、同轴电缆或光纤，选择灵活。

(10) **传输线颜色** CAN 总线基本颜色为橙色；CAN-L（低位）均为棕色；CAN-H（高位）、驱动系统传输线为黑色，舒适系统传输线为绿色，信息系统传输线为紫色。

(11) **故障封闭** CAN 能判断暂时错误（如外部噪声等）和永久错误（如模块内部故障、驱动器故障和断线等）的节点，具有故障节点自动脱离功能。

(12) **电控单元实时监控** 对所连接的 CAN 总线进行实时监控，当出现故障时，该电控单元存储相应的故障码。网络使用数据链路接口（DLC）为解码器提供接口。由于所有系统信息可通过另一根（冗余）导线进行传递，当数据总线的一根导线损坏时，系统仍可继续工作。若两根导线损坏，会影响诊断功能。

(13) **组网自由，功能扩展能力强** 若系统需增加新功能，仅需软件升级即可。

(14) **传输速率与距离** CAN 总线任意两节点之间的最大距离见表 3-1，总线利用率高，数据传输距离长，可达 10km；数据传输速率高，可达 1Mbit/s。

表 3-1 CAN 总线任意两节点之间的最大距离

位速率/(kbit/s)	1000	500	250	125	100	50	20	10	5
最大距离/m	40	130	270	530	620	1300	3300	6700	10000

二、CAN 总线的位数值表示

CAN 总线分别用“显性”（Dominant）和“隐性”（Recessive）两个互补的逻辑值表示 0 和 1。当总线上出现同时发送显性和隐性位时，总线数值为显性（即 0 与 1 的结果为 0）。 V_{CAN-H} 和 V_{CAN-L} 为 CAN 总线收发器与总线之间的两接口端子电压，信号以两线之间的差分电压形式出现，如图 3-1 所示。在隐性状态， V_{CAN-H} 和 V_{CAN-L} 被固定在平均电压附近， V_{diff} 近似于 0。在总线空闲或隐性位期间，发送隐性位。显性位以大于最小间值的差分电压表示。

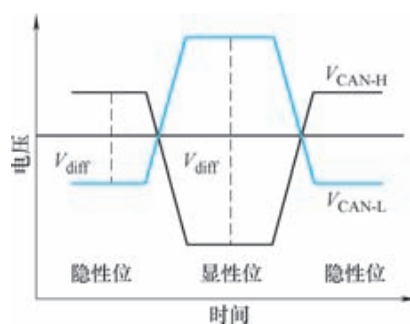


图 3-1 总线位的数值表示

高速 CAN 电路简图和信号图如图 3-2 所示，主要用于发动机、变速器、ABS 和转向助力等汽车动力系统的数据传输。高速 CAN 速率是所有 CAN 总线中最高的，达到 500kbit/s。它采用终端电阻结构，其中心电阻为 66Ω，并且 CAN-H 线和 CAN-L 线为环状结构，即任意一根数据线断路，则 CAN 总线无法工作。CAN-H 线的高电平为 3.5V，低电平为 2.5V；CAN-L 线的高电平为 2.5V，低电平为 1.5V。两者互为镜像。当 CAN-H 线为 3.5V，CAN-L 线为 1.5V 时，逻辑值为 1；当 CAN-H 线为 2.5V，CAN-L 线为 2.5V 时，逻辑值为 0。

低速 CAN 电路简图和信号图如图 3-3 所示，主要用于舒适性系统和车身系统等。低速 CAN 总线速率达到 100kbit/s，没有终端电阻，且 CAN-H 线和 CAN-L 线分离，即任意一根数据线断路，CAN 总线工作不受影响。信号图与高速 CAN 有很大区别，CAN-H 线的

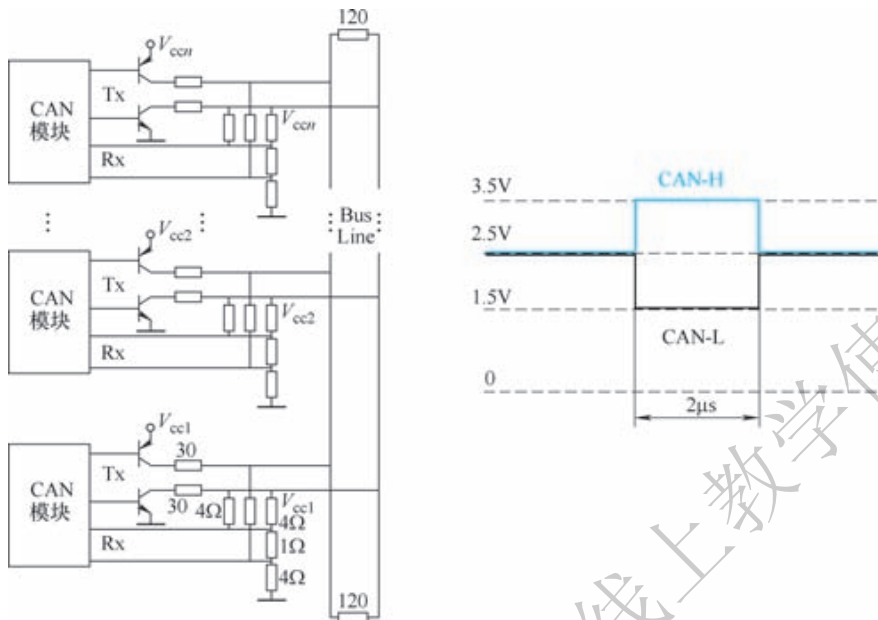


图 3-2 高速 CAN 电路简图和信号图

高电平为 3.6V，低电平为 0；CAN-L 线的高电平为 5V，低电平为 1.4V。两者互为镜像。当 CAN-H 线为 3.6V，CAN-L 线为 1.4V 时，逻辑值为 1；当 CAN-H 线为 0，CAN-L 线为 5V 时，逻辑值为 0。

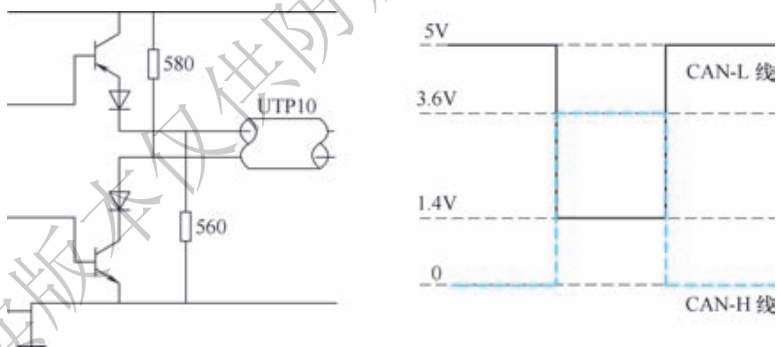


图 3-3 低速 CAN 电路简图和信号图

第二节 CAN 协议

一、概述

CAN 技术的应用推广，要求通信协议标准化。1991 年 9 月，博世公司制定并发布了 CAN 技术规范（Version 2.0），该技术规范包括 A 和 B 两部分。CAN 2.0A 给出了曾在



CAN 技术规范版本 1.2 中定义的 CAN 报文格式，而 CAN 2.0B 给出了标准的和可扩展的两种 CAN 报文格式。此后，1993 年 11 月，ISO 正式颁布了道路交通运输工具—数字交换—高速通信控制器局域网国际标准（ISO 11898—高速 CAN）以及低速标准（ISO 11519—低速 CAN）。美国汽车工程师学会等组织和团体也以 CAN 协议为基础颁布本组织的标准，见表 3-2，将汽车通信协议按通信速度进行分类，见表 3-3。

表 3-2 CAN 协议与相关标准

名称	位速率/ (kbit/s)	规 格	使用范围
SAE J1939—11	250	双线制，屏蔽式双绞线	载货汽车、大型客车
SAE J1939—12	250	双线制，屏蔽式双绞线，供给电压为 12V	农业机械
SAE J2284	500	双线制，双绞线（无屏蔽）	汽车（高速：动力传动系统）
SAE J2411	33.3、83.3	单线制	汽车（低速：车身系统）
NMEA-2000	62.5、125、250、500、1000	双线制，屏蔽式双绞线，供给电源，供给电压为 24V	船舶
Device Net	125、250、500	双线制，屏蔽式双绞线，供给电源，供给电压为 24V	工业设备
CANopen	10、20、50、125、250、500、800、1000	双线制，双绞线，选用（屏蔽，电源）	工业设备
SDS	50、125、500、1000	双线制，屏蔽式双绞线选用（电源）	工业设备

表 3-3 通信协议按速度分类

电通信	等级	通信速率/ (kbit/s)	用 途	协 议
↑ ↓ 光通信	A	0~10（车身系统）	照明装置、电动车窗、电动座椅、中央门锁等	低速 CAN（0~125kbit/s）、LIN
	B	10~125（状态信息系统）	组合仪表、驱动信息、自动空调、故障诊断	J1850、VAN
	C	125~1000（实时控制系统）	发动机、自动变速器、ABS、电子悬架等	高速 CAN（125~10000kbit/s）
	D	50000（多媒体）	—	DDB 光纤通信、MOST、IEEE 1394

二、CAN 的分层结构

CAN 协议包括 ISO/OSI 参考模型中的数据链路层和物理层，如图 3-4 所示。物理层分为物理层信号（PLS）、物理媒体连接（PMA）和媒体从属接口（MDI），数据链路层分为逻辑链路控制（LLC）和媒体访问控制（MAC）。

MAC 层的运行借助于“故障界定实体”（FCE）进行监控。故障界定是使判别短暂干扰和永久性故障成为可能的一种自检机制。物理层可借助检测和管理物理媒体对故障实体进行

监控（如总线短路或断路，总线故障管理）。LLC 和 MAC 两个同等的协议实体通过交换帧或协议数据单元（PDU）相互通信。CAN 协议的数据链路层由 N 层协议数据单元 NPDU、 N 层服务数据单元 N -SDU 和 N 层指定的协议控制信息 N -PCI 构成。

1. 数据链路层

(1) LLC

1) 功能。LLC 层具有接收滤波、超载通知和恢复管理的功能。

① 接收滤波。在 LLC 层上开始的帧跃变是独立的，其自身操作与先前的帧跃变无关。帧内容由标识符命名。标识符并不能指明帧的目的地，但描述数据的含义，每个接收器通过帧接收滤波确定此帧与其是否有关。

② 超载通知。若接收器内部条件要求延迟下一个 LLC 数据帧或 LLC 远程帧，则通过 LLC 子层开始发送超载帧。最多可产生两个超载帧，以延迟下一个数据帧或远程帧。

③ 恢复管理。发送期间，对于丢失仲裁或被错误干扰的帧，LLC 子层具有自动重发送功能。在发送完成之前，帧发送服务不被用户认可。

2) LLC 帧结构。LLC 是等同 LLC 实体（LPDU）之间进行交换的数据单元。

① LLC 数据帧由三个位场，即标识符场、数据字长度码（DLC）场和数据场组成，如图 3-5 所示。

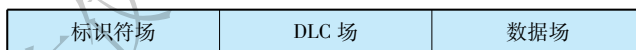


图 3-5 LLC 数据帧的结构

标识符场：标识符长度为 11 位，其最高 7 位（ID-10~ID-4）不应全为“1”。

DLC 场：DLC 指出数据场字节个数。DLC 由 4 位构成，数据场长度可为 0，数据帧允许数据字节数为 0~8，表 3-4 中规定数值以外的其他数值不能使用。

表 3-4 由 DLC 表示的数据字节数编码

数据字节数	DLC			
	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0

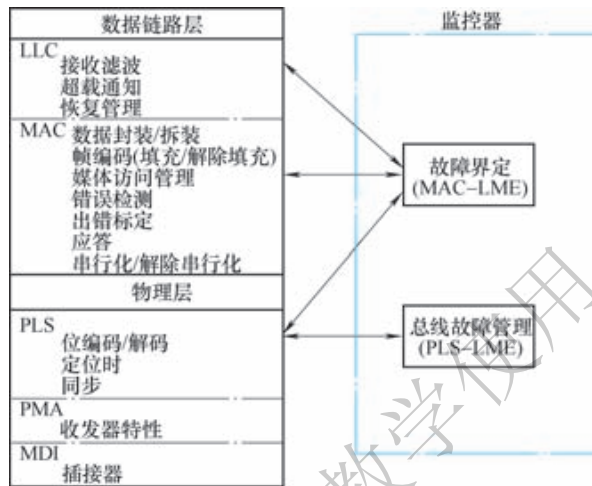


图 3-4 数据链路层和物理层功能框图



(续)

数据字节数	DLC			
	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0

数据场：由数据帧内被发送的数据组成，包括 0~8 个字节，每个字节包括 8 位。

② LLC 远程帧由标识符场和 DLC 场组成，如图 3-6 所示。LLC 远程帧标识符格式与 LLC 数据帧标识符格式相同，只是不存在数据场。DLC 的数值是独立的，此数据为对应数据帧的数据长度码。

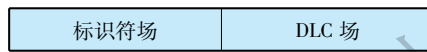


图 3-6 LLC 远程帧

(2) 媒体访问控制

1) 功能模型。MAC 层功能控制如图 3-7 所示，MAC 层划分为完全独立工作的发送部分和接收部分。

① 发送部分功能。

发送数据封装：接收 LLC 帧及接口控制信息，通过向 LLC 帧附加帧起始 (SOF) 和远程发送请求 (RTR)、保留位、CRC、应答 (ACK) 和帧结束 (EOF)，进行 CRC。

发送媒体访问管理：确认总线空闲后，开始发送过程（通过帧间空间应答）；MAC 帧串行化；插入填充位（位填充）；在丢失仲裁情况下，退出仲裁

并转入接收方式；错误检测（监控、格式检验）；应答校验；确认超载条件；构造超载帧并开始发送；构造出错帧并开始发送；输出串行位流至物理层准备发送。

② 接收部分功能。

接收媒体访问管理：由物理层接收串行位流，解除串行结构并重新构建帧结构，检测填充位（解除位填充），错误检测（CRC、格式校验、填充规则校验），发送 ACK，构造错误帧并开始发送，确认超载条件，重新激活超载帧结构并开始发送。

接收数据拆装：从接收帧中去除 MAC 信息，输出 LLC 帧和接口控制信息至 LLC 子层。

2) MAC 帧结构。CAN 数据在节点间发送和接收以 4 种不同类型的帧出现和控制，其

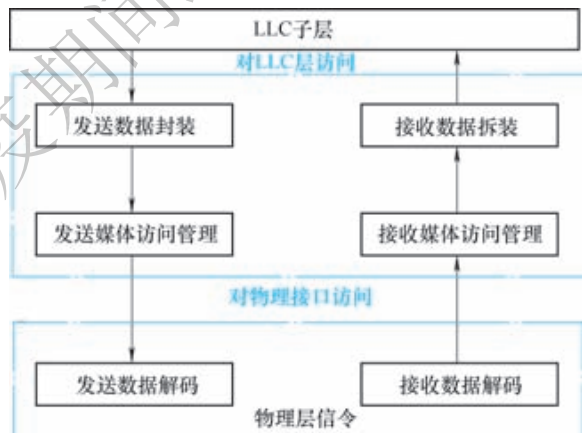


图 3-7 MAC 层功能控制

中数据帧将数据由发送器传至接收器；远程帧由节点发送，以请求发送具有相同标识符的数据帧；出错帧可由任何节点发出，以检验总线错误；而超载帧用于提供先前和后续数据帧或远程帧之间的附加延时。另外，数据帧和远程帧以帧间空间与先前帧隔开。

① 数据帧。MAC 数据帧由 7 个不同位场构成，即帧起始、仲裁场、控制场（两位保留位+DLC 场）、数据场、CRC 场、ACK 场和帧结束，如图 3-8 所示。

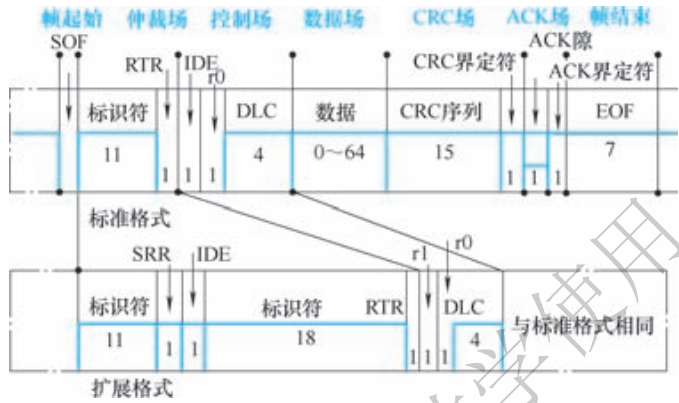


图 3-8 MAC 数据帧

帧起始 (SOF)：标志数据帧和远程帧的起始，由单个“显性”位构成。当总线处于空闲状态时（处于隐性状态），一个由隐性到显性的变化沿表示一个帧起始的硬同步。

仲裁场：表明数据优先顺序的区域，由来自 LLC 层的标识符和 RTR 位构成。在 MAC 数据帧中，RTR 位数值为“0”。

控制场：表明预约位数和数据字节数的区域，由 6 位构成，包括两位用于 DLC 扩展的保留位。接收器接收“0”和“1”位，作为所有组合中的保留位。在定义保留位功能前，发送器只发送“0”位。

数据场：与 LLC 数据场格式相同。

CRC 场：表示循环冗余码区域，包括 CRC 序列，后随 CRC 界定符。CRC 循环冗余检验是将发送的数据看成高次多项式，用预先选定的生成多项式对其进行模 2 除运算后，将余数附加在数据位之后发送。接收方对送来的数据列用同一生成多项式进行模 2 除运算，没有余数则证明接收的数据正确。

ACK 场：ACK 场为两位，即 ACK 隙和 ACK 界定符。发送节点的 ACK 场中，送出两个“隐性”位。在 ACK 隙内，所有接收匹配 CRC 序列的节点，以“显性”位改用发送器的“隐性”位送出一个应答。ACK 界定符为 ACK 场的第二位，其必须是“隐性”位，因此，ACK 隙被两个“隐性”位（ACK 界定符和 CRC 界定符）所包围。

帧结束 (EOF)：MAC 的每个数据帧和远程帧均由 7 个“隐性”位构成的标志序列界定。

② MAC 远程帧。激活为数据接收器的节点，可通过发送一个远程帧，启动源节点发送各自的数据。一个远程帧由 6 个不同位场构成，即 SOF、仲裁场、控制场（两位保留位+DLC 场）、CRC 场、ACK 场和 EOF，如图 3-9 所示。仲裁场来自 LLC 层的标识符场和 RTR 位构成。在 MAC

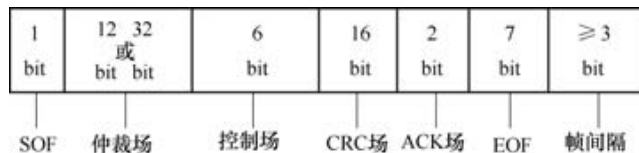


图 3-9 MAC 远程帧

ACK 场和 EOF，如图 3-9 所示。仲裁场来自 LLC 层的标识符场和 RTR 位构成。在 MAC



数据帧中，RTR 位数值为“1”。SOF、控制场、CRC 场、ACK 场和 EOF 等位场均与 MAC 数据帧的相应位场相同。

③ 出错帧。由两个不同场构成，第一个由来自不同节点的错误标志叠加给出，第二个为错误界定符。

错误标志分为活动错误标志和认可错误标志，前者由 6 位连续的“显性”位组成，后者由 6 位连续的“隐性”位组成。认可错误标志部分或所有位由来自其他节点的“显性”位改写。

错误界定符由 8 位“隐性”位构成。发送错误标志后，每个节点送出“隐性”位，并监控总线，直至其检测到“隐性”位，然后开始发送剩余的 7 个“隐性”位。

④ 超载帧。存在两类具有相同格式的超载帧，即 LLC 要求的超载帧和重激活超载帧，前者为 LLC 层所要求，表明内部超载状态；后者由 MAC 层的一些出错条件而启动发送。

超载帧包括超载标志和超载界定符，超载标志的完整形式相应于活动错误标志。超载界定符与错误界定符具有相同的形式。超载标志由 6 个“显性”位构成，超载界定符由 8 位“隐性”位构成。

⑤ 帧间空间。数据帧和远程帧同前述的任何帧（数据帧、远程帧、出错帧、超载帧）均由称为帧间空间的位场隔开。相反，超载帧和出错帧前面不存在帧间空间，并且多个超载帧也不用帧间空间分隔。帧间空间包括间歇场和总线空闲场，对先前帧已发送“错误-认可”的节点还有暂停发送场，如图 3-10 所示。

间歇场：由 3 个“隐性”位构成。间歇期间不允许节点开始发送数据帧或远程帧，仅起标注超载条件的作用。

总线空闲场：可以是任意长度，总线空闲时任何节点均可访问总线，以便发送。其他帧发送期间，等待发送的帧在紧随间歇场后的第一位启动。若在总线空闲期间检测到总线上“显性”位将被理解为帧起始。

暂停发送场：“错误-认可”节点完成发送后，其在紧随间歇后，被允许发送下一帧前，送出 8 位“隐性”位。其间，若有发送启动（由其他节点引起），则节点变为该帧的接收器。

3) MAC 帧编码和发送/接收。SOF、仲裁场、控制场、数据场和 CRC 序列帧段均以位填充方法进行编码。当发送器在发送位流中检测到 5 个数值相同的连续位（包括填充位）时，在实际发送位流中，自动插入一个补码位。数据帧或远程帧的其余位场（CRC 界定符、ACK 场和 EOF）为固定形式，不进行位填充。出错帧和超载帧也为固定格式，同样不使用位填充方法进行编码。帧中的位流按照非归零方法编码，即在位总计时时间内产生的位电平为常数。一帧应由 SOF 场开始逐个位场进行发送，在一场内应首先发送

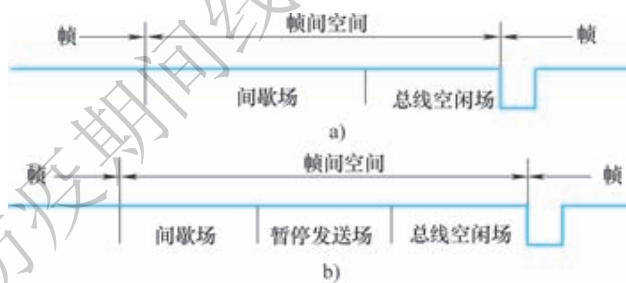


图 3-10 帧间空间

- a) 非“错误-认可”或已收到先前帧节点的帧间空间
b) 先前帧已发送“错误-认可”节点的帧间空间

最高位，如图 3-11 所示。对于发送器和接收器，一帧的有效时段不同。对于发送器，若在帧结束完成前不存在错误，则该帧为有效。若一帧被破坏，则进行恢复处理。对于接收器，若在帧结束最后一位前不存在错误，则该帧为有效。

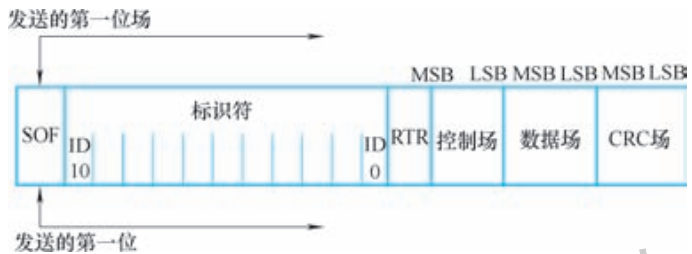


图 3-11 位发送次序

4) 媒体访问和仲裁。当检测到间歇场未被“显性”位中断后，认为总线被所有节点释放。总线一旦释放，“错误-活动”节点接收当前或先前的“错误-认可”节点都可以访问总线。当完成暂停发送，并且其间没有其他节点开始发送时，发送当前帧或已发送完先前帧的“错误-认可”节点可以访问总线。当允许节点访问总线时，MAC 数据帧和 MAC 远程帧可以起始发送。MAC 错误帧和 MAC 超载帧如按上述规定被发送，发送期间，发送数据帧或远程帧的每个节点均为总线主站。

当许多节点一起开始发送时，此时只有发送具有最高优先权帧的节点变为总线主站。这种解决总线访问冲突的机理是基于竞争的仲裁。仲裁期间，每个发送器将发送位电平与总线上监测到的电平进行比较。若相等，则节点可以继续发送。当送出一个“隐性”电平，而监测到“显性”电平时，表明节点丢失仲裁，不应再送更多位。当送出“显性”电平，而监测到“隐性”电平时，表明节点检测出位错误。

基于竞争的仲裁依靠标识符和紧随其后的 RTR 位完成。具有不同标识符的两帧中，优先权被标注于帧中，较高优先权的标识符具有较低的二进制数值。若具有相同标识符的数据帧和远程帧同时被初始化，数据帧较远程帧具有较高优先权，通过按照 RTR 位数值标志达到。

除仅当总线释放时，可以启动发送这一原则外，还存在解决冲突的下列原则：

- ① 在一个系统内，每条信息必须标以唯一的标识符。
- ② 具有给定标识符和非零 DLC 的数据帧仅可由一个节点启动。
- ③ 远程帧仅可由全系统内确定的 DLC 发送，该数据长度码为对应数据帧的 DLC。具有相同标识符和不同 DLC 远程帧的同时发送将导致不能解决的冲突。

5) 错误检测。MAC 层具有检测、填充规则校验、帧校验、15 位循环冗余码校验和应答校验功能。

① 错误类型。

位错误：正在向总线发送一位的节点同时在检测总线。当检测到的位数值与送出的位数值不同时，则检测到位错误。但仲裁期间，当送出隐性信息位或 ACK 隙期间送出隐性位时，而检测到显性位不认为是位错误；送出认可错误标志，而检测到显性位的节点不将其确定为位错误。

填充错误：在使用位填充方法进行编码的帧场中，出现第六个连续相同电平的位时，则检测到填充错误。

CRC 错误：CRC 序列由发送器的 CRC 计算结果构成，接收器以发送器相同的方法计



算 CRC。当计算的 CRC 序列不等于接收到的序列时，则检测到 CRC 错误。

形式错误：当固定格式位场含有一个或更多非法位时，则检测到形式错误。但接收器在帧结束的最后位检测到显性位时，不将其理解为形式错误。

应答错误：在发送 ACK 隙期间未检测到显性位时，则检测到一个应答错误。当检测到错误时，LLC 层即被通知，且 MAC 层启动发送错误标志。当任何节点检测到位错误、填充错误、形式错误或应答错误时，由各自节点在下一位启动发送错误标志。当检测到 CRC 错误时，错误帧在紧随 ACK 界定符后的那位起始发送，除非另一个错误条件的错误帧已经准备好启动。

② 错误界定规则。网络中的任何一个节点，根据其错误计数器数值，可能处于下列三种状态之一：

“错误激活”节点：可正常参与总线通信，并在检测到错误时，发出一个活动错误标志。活动错误标志由 6 个连续显性位组成，并遵守位填充规则和在规范帧中出现的所有固定格式。

“错误认可”节点：不应发送活动错误标志，并参与总线通信，但在检测到错误时，发送一个认可错误标志。认可错误标志由 6 个连续的隐性位组成。一个“错误认可”完成报文发送后，在间隙场送出 8 个隐性位作为“错误认可”节点，在开始进一步发送前将等待一段附加时间。

“总线脱离”节点：当一个节点由于请求故障界定实体而对总线处于关闭状态时，其处于“总线脱离”状态。在“总线脱离”状态下，节点既不发送，也不接收任何帧。只有应用户请求，节点才能解脱“总线脱离”状态。

为进行错误界定，在总线上的每个单元中都设置有两种计数器，即发送出错计数器和接收出错计数器。节点所处状态转换如图 3-12 所示。

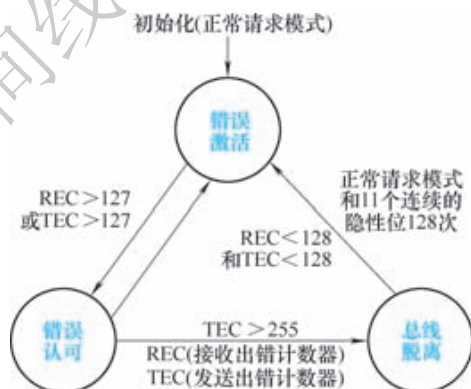


图 3-12 节点所处状态转换

若系统启动期间，仅有一个节点在线，该节点发送一些帧且得不到应答时，检测错误并重发帧。它可变为“错误认可”，但不会由此进入“总线脱离”状态。

关闭“总线脱离”的节点，必须通过启动子程序运行，以便在启动发送前，与已经有效的节点同步。当 11 个隐性位为应答界定符+帧结束+间歇或错误/超载界定符+已检测到间歇时，则可达到同步；若此期间不存在其他有效节点，则需等待未变为“总线脱离”的其他节点。

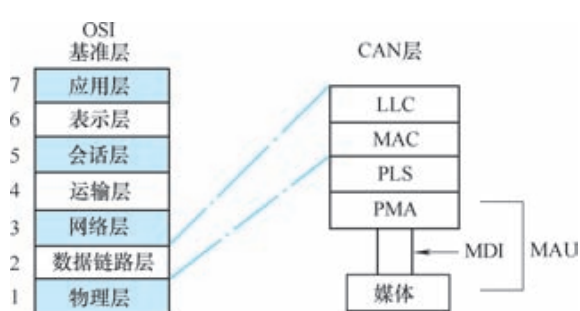


图 3-13 物理层的结构

2. 物理层

(1) **物理层结构** 物理层的结构如图 3-13 所示。

1) 物理信令 (PLS) 用于实现与位表示、定时和同步相关的功能。

2) 媒体访问单元 (MAU) 表示用于耦合节点至发送媒体的物理层的功能部分。MAU 由物理媒体附属装置 (PMA) 和媒体相关接口 (MDI) 构成。PMA 层实现总线发送/接收的功能电路, 并提供总线故障检测方法。MDI 实现物理媒体和 MAU 之间机械和电气接口。

(2) 位时间 位时间即一位的持续时间。在位时间框架内执行的总线管理功能, 如电控单元同步状态、网络发送延迟补偿和采样点定位, 均由 CAN 协议集成电路的可编程位定时逻辑确定。

理想发送器在无重同步情况下, 以正常位速率给出每秒发送的位数。正常位时间可划分为分开的和不覆盖的时间段, 即同步段 (Sync-Seg)、传播段 (Prop-Seg)、相位缓冲段 1 (Phase-Seg1) 和相位缓冲段 2 (Phase-Seg2), 如图 3-14 所示。

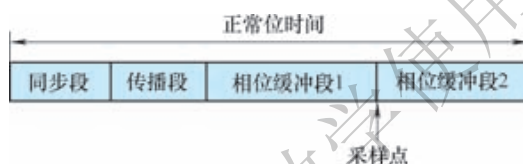


图 3-14 正常位时间的组成

同步段用于同步总线上的各个节点或设备, 在此段内等待一个跳变沿。传播段用于补偿网络内的物理延迟时间, 包括总线上的信号传播时间和电控单元的内部延迟时间。相位缓冲段 1 和相位缓冲段 2 用于补偿沿相位误差, 可通过重同步延长或缩短。

采样点用于读取总线电平, 并转换为相应位数值, 位于相位缓冲段 1 的结束处。信息处理时间始于采样点, 被保留用作计算子序列电平的时间段。

位时间按时间量程进行编程, 时间量程是由振荡器周期推导出的固定时间单位。当前可编程整数的预分刻度范围为 1~32 时, 自时间份额最小值开始。

(3) 同步 同步包括重同步和硬同步, 遵从下列规则:

- 1) 在一个位时间内仅允许一种同步。
- 2) 只有先前采样点检测到的数值 (先前读总线数值) 不同于边沿后即现的总线数值时, 边沿才被用于同步。
- 3) 总线空闲期间, 当存在隐性至显性的跳变沿时, 即完成硬同步。
- 4) 所有满足规则 1) 和 2) 的其他隐性至显性的跳变沿和在低位速率情况下, 选择的显性至隐性跳变沿将被用于重同步; 若只有隐性至显性沿被用于重同步, 由于具有正相位的隐性至显性跳变沿, 发送器将不完成重同步。

三、不同版本通信协议与互联

1. B 类通信协议与 C 类通信协议互联

不同版本的 CAN 可以通过网关取得互联, 网关就是具备不同网络协议之间信息转换能力的单片机。如美国三大汽车公司采用网关, 使 B 类通信协议 SAE J1850 网络与 C 类通信协议博世 CAN 网络之间进行互联, 即 Intel 16 位 87C169KR 单片机。

两个 CAN 网络执行器是两个独立芯片, 由 CAN 电控单元 (单片机) 作为网关, CAN 执行器芯片如同随机存储器被网关写读, 如图 3-15 所示。当收到信息时, 网关执行接收 CAN 芯片的外部操作, 然后按转换信息的逻辑指令执行外部操作, 并对网络第二个 CAN 芯片编程传输。



CAN 2.0B 协议数据位速率可达 1Mbit/s, 相当于可执行 SAE C 类高速数据速率的通信协议, 故被称为 SAE J1939 规范。由于高速率串行链路的电子元件和相应硬件成本较高, 因此某些控制系统不需要高速数据速率, 如灯光、车内温度、中央门锁等可以采用中速 (B 类)、低速 (A 类) 数据速率的通信网络。SAE J1850 是采用数据速率为 41.6kbit/s 的 B 类通信网络, 利用网关将要求高速率 C 类通信的发动机控制互联。ABS 的 CAN 2.0B 网络用网关与 SAE J1850 网络实现互联, 如图 3-16 所示。

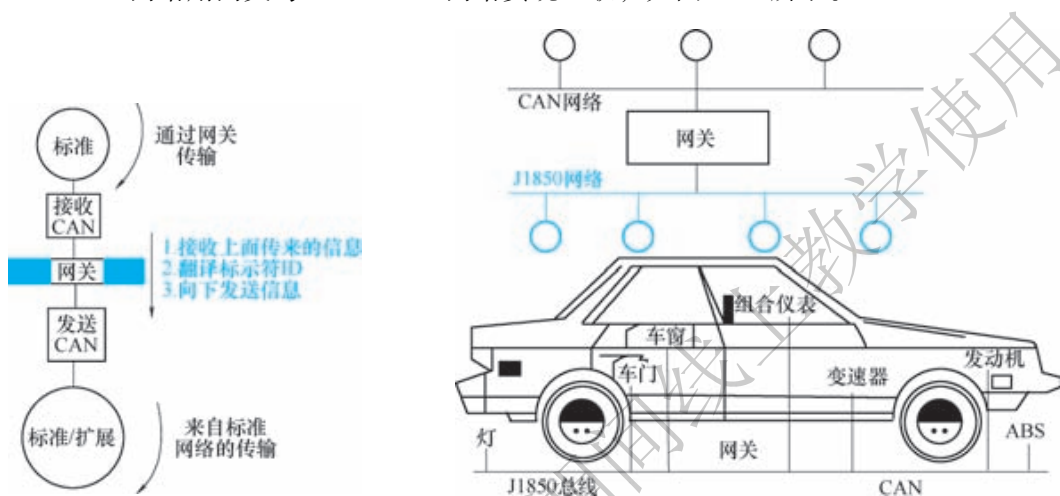


图 3-15 网关处理内容

图 3-16 轿车 CAN 与 SAE J1850 网络互联

2. 通用工作负荷特性

为了合理分配通信速率, 提高效率 and 降低成本, 博世公司开发了供不同等级通信选用的通用工作负荷特性表, 共有 90 项内容, 可供 CAN 总线汽车使用或维修时参考。

延伸阅读

通用工作负荷特性表见表 3-5。

表 3-5 通用工作负荷特性表

信息标识	电子器件及项目	位	应用频率/Hz	等级	源于何种系统	信号类型	传输速率/(bit/s)
0	左前碰撞传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
1	右前碰撞传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
2	中央碰撞传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
3	火花塞输出正时信号	16	200	C	动力电控单元	传感型	12800
4	ABS 液压泵速度控制	16	200	C	汽车安全系统	监控型	12800
5	左前轮速传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
6	右前轮速传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800

(续)

信息标识	电子器件及项目	位	应用频率/Hz	等级	源于何种系统	信号类型	传输速率/(bit/s)
7	左后轮速传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
8	右后轮速传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
9	转向角传感器	16	200	C	空气悬架/电子助力转向	传感型	12800
10	液压转向助力信号	16	200	C	电控助力转向系统	监控型	12800
11	车速控制信号	16	200	C	巡航控制系统	监控型	12800
12	离合器位置传感器	16	200	C	点火电控单元	传感型	12800
13	曲轴位置传感器	16	200	C	点火电控单元	传感型	12800
14	分布式点火拾波(器)	16	200	C	点火电控单元	监控型	12800
15	制动踏板位置传感器	16	200	C	汽车安全系统	传感型	12800
16	制动压力传感器	16	200	C	牵引力控制系统	传感型	12800
17	左后轮滑转传感器	16	100	C	汽车安全系统	传感型	6400
18	右后轮滑转传感器	16	100	C	汽车安全系统	传感型	6400
19	线性高度传感器	16	100	C	电子悬架	传感型	6400
20	变速器速度传感器	16	100	C	动力电控单元	传感型	6400
21	车速传感器	16	100	C	动力电控单元	传感型	6400
22	节气门位置传感器	16	100	C	牵引力控制系统	传感型	6400
23	变速器离合器管路压力	16	100	C	牵引力控制系统	传感型	6400
24	点火诊断监测器	16	50	B	点火电控单元	监控型	3200
25	凸轮轴位置传感器	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
26	手动控制杆位置	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
27	压力增量(电子)反馈	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
28	加热型氧传感器	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
29	空气流量传感器	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
30	节气门位置传感器	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
31	发动机转速信号	16	50	B	动力电控单元	传感型	3200
32	驻车制动位置传感器	16	10	B	组合仪表显示系统	传感型	640
33	在行驶和转向过程中的 无线电控制	16	10	B	组合仪表显示系统	传感型	640
34	蓄电池电流	16	10	B	点火电控单元	传感型	640
35	蓄电池电压	16	10	B	点火电控单元	传感型	640
36	自动变速器空档启动开关 (PRNDL)	16	10	B	点火电控单元	传感型	640
37	变速器油液温度	16	10	B	动力电控单元	传感型	640
38	空调压缩机离合器	16	10	B	动力电控单元	传感型	640



(续)

信息标识	电子器件及项目	位	应用频率/Hz	等级	源于何种系统	信号类型	传输速率/(bit/s)
39	发动机冷却液温度	16	10	B	动力电控单元	传感型	640
40	变速器油液压力	16	10	B	动力电控单元	传感型	640
41	进气温度	16	5	B	动力电控单元	传感型	320
42	悬架状态	16	1	A	电子悬架	监控型	64
43	车外温度	16	1	A	空调控制系统	传感型	64
44	蒸发器温度	16	1	A	空调控制系统	传感型	64
45	车内温度	16	1	A	空调控制系统	传感型	64
46	后窗除霜/雾	16	1	A	空调控制系统	传感型	64
47	风扇速度控制	16	1	A	空调控制系统	传感型	64
48	加湿器(温度)控制	16	1	A	空调控制系统	监控型	64
49	加热/冷却控制	16	1	A	空调控制系统	监控型	64
50	设定/加速/恢复	16	1	A	巡航控制系统	传感型	64
51	巡航控制指示灯	16	1	A	巡航控制系统	监控型	64
52	前照灯传感器	16	1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
53	点火开关位置		1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
54	喇叭传感器	16	1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
55	危险警告信号传感器	16	1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
56	左右转向信号	16	1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
57	音调调控标志	16	1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
58	发动机润滑油压力	16	1	A	组合仪表显示系统	传感型	64
59	燃油液面高度传感器	16	1	A	点火电控单元	传感型	64
60	交流发电机警告灯	16	1	A	点火电控单元	监控型	64
61	辛烷值调节塞	16	1	A	动力电控单元	传感型	64
62	变速器控制开关(OD)	16	1	A	动力电控单元	传感型	64
63	发动机怠速	16	1	A	动力电控单元	传感型	64
64	发电机状况	16	1	A	动力电控单元	监控型	64
65	燃油流量/消耗量	16	1	A	动力电控单元	监控型	64
66	变速器控制指示灯	16	1	A	动力电控单元	监控型	64
67	废气再循环(EGR)真空调节器	16	1	A	动力电控单元	监控型	64
68	检修发动机指示灯	16	1	A	动力电控单元	监控型	64
69	ABS制动液液面高度传感器	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
70	制动主缸制动液液面高度传感器	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
71	中央门锁	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
72	电动座椅	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64

(续)

信息标识	电子器件及项目	位	应用频率/Hz	等级	源于何种系统	信号类型	传输速率/(bit/s)
73	电动车窗	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
74	移位禁止信号	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
75	移位连续信号	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
76	座椅安全带传感器	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
77	车门传感器 1	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
78	车门传感器 2	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
79	车门传感器 3	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
80	车门传感器 4	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
81	车门传感器 5	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
82	防盗传感器	16	1	A	汽车安全系统	传感型	64
83	ABS 状态灯	16	1	A	汽车安全系统	监控型	64
84	ABS 制动灯	16	1	A	汽车安全系统	监控型	64
85	SRS 指示灯	16	1	A	汽车安全系统	监控型	64
86	座椅安全带灯	16	1	A	汽车安全系统	监控型	64
87	门灯 (ON/OFF)	16	1	A	汽车安全系统	监控型	64
88	SRS 状况	16	1	A	汽车安全系统	监控型	64
89	洗涤液传感器	16	0.1	A	汽车安全系统	传感型	6.4

3. 低速车身控制系统实施高速的 CAN 协议

(1) 低速车身控制系统的含义 低速 (小于 125kbit/s) 车身控制系统主要指汽车灯光、刮水器、电动车窗、后视镜、中央门锁、空调以及其他低速数据的通信系统。低优先级和低通信量的低速车身控制信息,若采用高速数据总线结构,会使生产成本和维修费用提高。

近年来,用于车身控制系统的各种协议并不通用,且有一定的局限性。CAN 虽然是国际标准化组织推荐的汽车高速网络标准,当然也可用于低速的车身控制系统。若选用同类的 CAN 协议,则很容易从高速到低速网络或从低速到高速网络桥接数据。当 CAN 被配置于低速应用,若 CAN 的芯片仍然与高速应用的芯片相同则不经济。由沃威克大学先进技术中心与飞利浦公司开发的串行链路输入/输出控制器局域网 (SLIOCAN) 发展和改进了 CAN 技术,能以低成本满足低速车身控制系统的应用要求。

(2) SLIOCAN SLIOCAN 是用于完成简单输入/输出功能的低智能 CAN 芯片,其最简单的结构可以看作带有内部 CAN 控制器的 I/O 端口,具有 CAN 协议规定的全部特征和能力,并符合 CAN 2.0A 和 CAN 2.0B (无源) 规格,具有 11 位 CAN 标识符和 29 位忽略标识符,不会使总线出错。

SLIOCAN 若扩展到低速应用,采用其内部振荡器,速率可达到 125kbit/s; 如果采用



外部晶体振荡器，速率可达到 250kbit/s。通常，在无外部晶体时钟的条件下使用，以使 SLIO 接口简单且成本低。

标准的 CAN 与 SLIOCAN 相比，前者所有电控单元通过物理层连接到一根双绞总线上，后者用低智能的只带有内部 CAN 控制器的 I/O 端口（SLIOCAN）代替电控单元，即 SLIOCAN 只用一个电控单元。

由于 SLIOCAN 是一种低智能装置，要靠 1 个智能主节点编程和控制。智能主节点是一种含有电控单元的 CAN 节点，全部 16 个 SLIO 都受控于 SLIOCAN 总线上的一个主节点。由于各个 SLIO 中均有 4 个标识位，产生 16 个不同的标识符，见表 3-6 的 P_0 、 P_1 、 P_2 和 P_3 。考虑合并两个不同制造厂有不同标识符设定（如各不相同的 ID）的 SLIO，将会给出 32 个 SLIO 节点（如飞利浦和国家半导体公司各 16 个）。11 位 CAN 标识符中的 ID0 指示的数据传输的方向有两种情况：当 ID0 为 0 时，信息方向从主控制器传送至 SLIO；而当 ID0 为 1 时，信息传递方向相反。SLIOCAN 的主控制器也能使用遥控帧从其节点进行查询。SLIOCAN 的数据字节一直被制造厂固定为 2 个或 3 个字节。在数据字段（主存储器中保存数据记录的一个区域）中，第一数据字节起到命令寄存器和状态寄存器的功能，其余的数据字节与 SLIO 的输入/输出端子相适配（8 位或 16 位）。各个 SLIO 端口可以单独编程。

表 3-6 与 CAN 11 位标识符相关的 SLIO 标识符

11 位 CAN 标识符	ID+0	ID9	ID8	ID7	ID6	ID5	ID4	ID3	ID2	ID1	ID0
SLIO 标识符	0	1	P_3	1	0	P_2	P_1	P_0	1	0	Dir

注：Dir 为 SLIOCAN 信息的方向位； $P_0 \sim P_3$ 为 SLIO 标识符设定点。

(3) SLIO 的物理寻址方法 由于 SLIO 标识符为 4 位，SLIOCAN 继承了由一特定标识符指定每个 SLIOCAN 节点的物理寻址方法。因此，通常不再采用 CAN 的功能寻址方法。例如，在车内的某一个 SLIOCAN 系统中，为了接通右转向信号灯，两个数据帧必须送到汽车的前、后 SLIO 分支点，如果采用了功能寻址，则被调作“转向信号”的功能帧将在网络上广播，全部对应的接收器将会接收和处理“转向”信息，由此会导致数据混乱。此外，SLIO 还按虚拟主/从结构操作至一定的级别，SLIO 主节点的相关情况如图 3-17 所示。

由于一根 CAN 总线上的全部 16 个 SLIO 由 1 个主节点控制，在某些情况下它们可分组，并受几个主控制器控制。但同一总线上的 SLIO 总数不能超过 16（或 32）个。而在多主机的条件下，仅需对一个主机定标。由于 CAN 的广播方法，所有的其他 CAN 节点（主节点和 SLIO 节点）也能接收 SLIO 发送的信息。因此，SLIO 物理寻址方法最重要的是确保其他智能节点（专用的主节点除外）不能对数据起作用，否则会导致数据混乱和差错。

(4) SLIOCAN 的信息发送方式 为了使 SLIO 的内部振荡器同步，以供总线定时，主控制器需每隔 3800 位时间发送 1 条标定帧，只需标定 SLIO 节点，就能发送 1 条 CAN

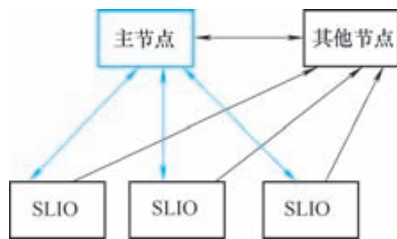


图 3-17 SLIO 主节点的相关情况

信息。

SLIO 的传输由内部 CAN 控制器硬件逻辑自动完成。在初始化过程中, SLIO 安排完成一定的功能, 如事件捕获输入、输出或模-数转换。初始化是通过编程的 SLIO 节点, 经 CAN 总线然后置电控单元主节点于启动状态。同样也只需标定 SLIO 节点就能传送一条 CAN 信息。在接收端, SLIO 具有只有该节点才有的标识符, 将自动应答内部 CAN 控制器逻辑, 如 ID644 被主节点送至 SLIO 节点, 如果信息已被校正接收, 则 SLIO 用 ID645 响应。应答帧由 SLIO 寄存器的现状态和现值组成, 这将对主控制器发送的信息和 SLIO 的现状态进行一次校核。此外, SLIO 使用 CAN 中的应答时隙 (空位), 只响应标定帧, 不发送应答帧。

如果新的 SLIO 节点添加到 SLIOCAN 网络中, 该节点将会按自身对主控制器的已知量, 在 8000 位时间内至少能检测 3 个帧。这种检验新节点存在的信息, 可能会对总线或某一监视帧起到一定作用。新的 SLIO 将用一条有标记的信息应答主机, 新的 SLIO 节点必须具有与现存的 CAN 节点不同的标识符。

(5) SLIOCAN 总线与 CAN 总线对比 SLIOCAN 缺少石英振荡器的精度, SLIO 的内部位计时逻辑是以最大的振荡器容限作为最佳选择条件, 这要求缩短 CAN 总线的有效长度, 作为抽样点的位时间必须尽量提前, 进而限制传输线上允许的传播延迟时间。SLIOCAN 与 CAN 的总线长度对比见表 3-7, SLIOCAN 的总线长度较 CAN 总线缩短了数百甚至几千米。另外, SLIOCAN 中两个外主节点间的最大容许距离较短, 但即使是最短的 80m, 相应的总线长度也足以满足小型汽车的应用。

表 3-7 SLIOCAN 与 CAN 的总线长度对比

位速率/(kbit/s)	总线长度/m	
	P82C150 (SLIOCAN)	P8XC592、PCA82C200 (CAN)
125	80	530
100	120	620
50	300	1300
20	850	3300

(6) SLIOCAN 车身控制系统的布局 SLIOCAN 技术应用于汽车车身控制系统, 一般可在 40kbit/s 位速率下操作, 需要增速时也可扩展至 125kbit/s。除了每隔 3800 位时间标定恒定传输的信息外, 所有的 CAN 传输都属于事件驱动 (状态变化)。总线负载相当低, 通过使用 CAN 总线分析器, 在改进的系统中记录下的最大总线负载为 6.4%, 其中包括转向信号灯接通, 重复按压座椅位置开关和前照灯远光开关。SLIOCAN 的标定帧总数是总线负载的 1.8%。SLIOCAN 的这种“附加开销”与智能的 CAN 网络相比差别很大。

采用 SLIOCAN 的车身控制系统如图 3-18 所示, 中央控制单元 P8XC592 由飞利浦公司生产, 属于 8051 系列, 其性能参数如下: RAM 256KB, ROM 16KB, 端子 68, I/O 端子 48, 全双工异步收发器 UART, 定时/计数器 3, CAN 总线, 10 位 A-D 转换, 其中最主要的性能特点是具有多机通信和网络接口功能, 即有 CAN 总线接口。

除了电动座椅和装在翼子板上的后视镜需进行 A-D 转换外, 大多数车身电控单元只



需进行数字通/断。另外，由于 SLIO 备有内部 A-D 转换器，将用数字记录电位差计的读数，故操作速度会增加一些。

(7) SLIOCAN 网络发生故障时的“对抗措施” 针对总线故障，SLIOCAN 与智能的 CAN 节点相同，即一旦 CAN 总线出现故障，各自独立的节点不能再与其主机或其他节点通信，此时系统按照预定义参数进入低效运行方式或缓复位。

由于 SLIO 有物理寻址能力，无大型软件辅助也能很容易地检测出故障部位。

监视计时器可以周期地检查所有节点的状况，确保系统的完好性。一旦某个节点发生故障，系统将采取妥当的“对抗措施”。

SLIOCAN 总线网络最大的特点之一是有较好的灵活性和适应性。在汽车设计和改装中，并不需要过多地改变原车身的主要线束。由于 SLIOCAN 内的电控单元已做了定时和延迟，因此，不存在继电器或定时器的磨损问题。高压开关灵敏半导体装置作为电源转换，这些装置与传统的熔断器相比，提供了更佳的回路保护。另外，还具有在零点几秒之内检测各种断路或短路的能力。这些故障状况可以反馈至中央控制单元，P8XC592 进一步对错误报警和采取妥当的“对抗措施”。

“对抗措施”包括接通制动灯作为后转向信号灯发生故障时的后备熔断器，或接通后雾灯作为制动灯发生故障时的后备熔断器等。SLIOCAN 网络采取“对抗措施”形成的“灯光混乱”，实际上是中央控制单元对故障报警和对回路补偿的安全措施之一。当与安全行车有紧密关系的制动灯或转向灯电路发生短路或断路时，点亮警告灯，对前方或后方的人和车做出“本车正在转弯或制动”的“补偿警告”，以减少行车事故。与此同时，警告驱动器驱动液晶显示器，提醒驾驶人尽快维修车辆。

当网络出现故障后，由于不存在维修继电器、定时器等部件，故需采用外接仪器进行诊断。SLIOCAN 很容易将故障诊断仪连接到数据总线上获取全部信息，也可补充使用数据登录器对汽车的非正常工况进行检测。另外，与诊断软件有关的知识也能进一步增强对汽车故障的诊断能力。

(8) SLIOCAN 车身控制系统的“即插即用”特性 目前的 SLIOCAN 车身控制系统如图 3-19 所示，由于带有较多的局部线束，整个系统的工作可靠性和电磁兼容性还并非最佳。因此，将灯群集器上的 SLIO、功率驱动器以及传感器或执行器（灯、螺线管、电动机等）组合制成单个的“即插即用”的标准组件，如图 3-20 所示。采用该模块化方法，再将各个标准组件按图 3-20 左边的五个框图直接连接 CAN 总线，可省去图 3-19 中的局部线束，还能提高整个系统的工作可靠性，并改善电磁兼容性。模块化设置对增加产品数量，提高产品质量和维修方便性非常有利。

4. 大型汽车中应用最广泛的应用层协议 SAE J1939

SAE J1939 由美国 SAE 组织维护和推广，其特点如下：

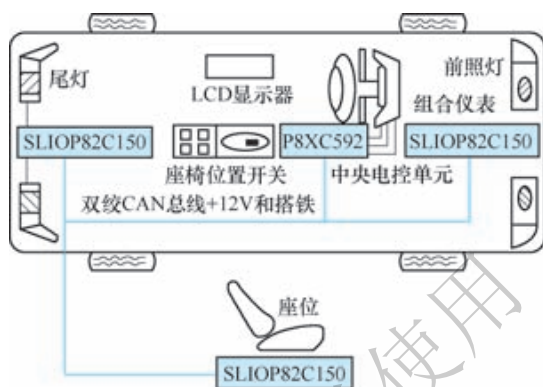


图 3-18 采用 SLIOCAN 的车身控制系统

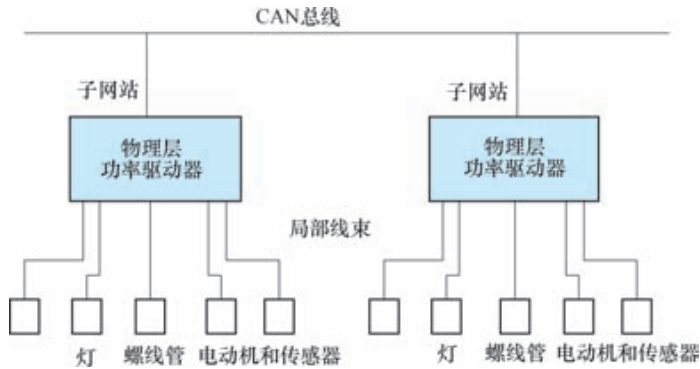


图 3-19 SLI0CAN 车身控制系统

1) 以 CAN 2.0B 协议为基础，物理层标准与 ISO 11898 规范兼容，并采用符合该规范的 CAN 控制器和收发器。通信速率最高可达 250kbit/s。

2) 采用协议数据单元 (PDU) 传送信息，每个 PDU 相当于 CAN 协议中的一帧。由于每个 CAN 帧最多可传输 8 个字节数据，因此 PDU 的传输具有很高的实时性。

3) 利用 CAN 2.0B 扩展帧格式的 29 位标志符定义每一个 PDU 的含义以及 PDU 的优先级。

4) J1939 协议主要作为汽车中应用的通信协议，对汽车中应用到的各类参数都进行了规定，参数的规定符合 ISO 11992 标准。

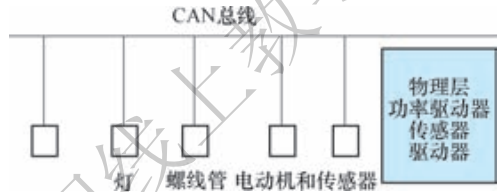


图 3-20 改进后的车身控制系统

第三节 CAN 的基本组成和数据传输原理

一、CAN 的基本组成

CAN 由每个电控单元内部的 CAN 控制器和收发器、每个电控单元外部连接的两条 CAN 总线和整个系统中的两个终端组成，如图 3-21 所示。

CAN 的接线如图 3-22 所示，中央电控单元 (CEM) 的 CAN 控制器具有双通道 (CRX0、CTX0/CRX1、CTX1) 的 CAN 接口，接到两个不同的 CAN 总线 (CAN-H 和 CAN-L) 上。各电控单元通过收发器与 CAN

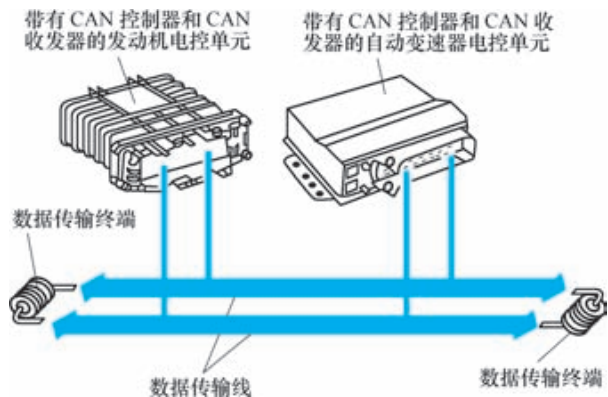


图 3-21 CAN 的基本组成



总线相连，相互交换数据。CAN 控制器根据两根线的电位差判断其总线的电平。总线的电平分为显性电平与隐性电平两种，二者必居其一。发送节点通过改变总线电平，将报文发送到接收节点。与总线相连的所有节点都可以发送报文，在两个以上的节点同时开始发送报文的情况下，具有优先级报文的节点获得发送权，其他所有节点转为接收状态。

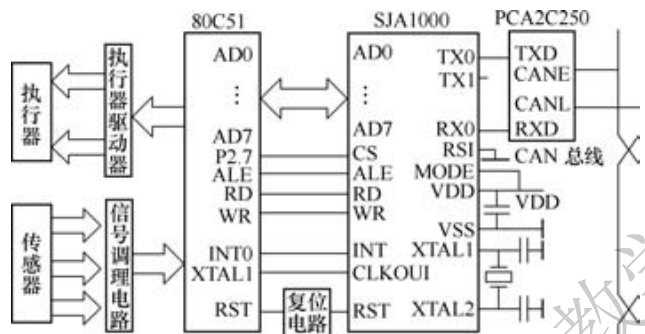


图 3-22 CAN 接线

80C51—单片机 SJA1000—CAN 控制器 PCA2C250—CAN 收发器

1. 电控单元

CAN 控制器接收来自传感器的信号，将其处理后再控制执行元件工作，同时根据需要要将传感器信息通过 CAN 总线发送给其他电控单元，如图 3-23 所示。电控单元的主要构件有 CPU、CAN 控制器和 CAN 收发器，另外还有输入/输出存储器程序存储器。

带有 CAN 收发功能的电控单元内部结构如图 3-24 所示。电控单元接收到的传感器信号（如发动机温度或转速）被定期按顺序存入输入存储器。电控单元按存储的程序处理输入值，处理结果存入相应的输出存储器，然后控制各执行元件工作。为了能够处理数据传输总线信息，各电控单元内还有一个数据传输总线存储区，用于容纳接收和发送的信息。

由于电控单元通过 CAN 控制器实现网络传输，因此，CAN 网络成为电控单元的输入信息来源，同时也是电控单元的信息输出对象。

2. CAN 控制器

CAN 控制器由一块可编程芯片上的逻

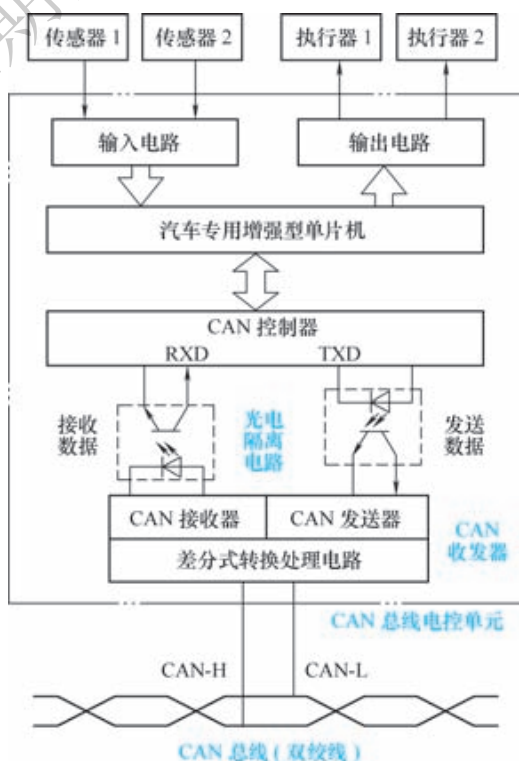


图 3-23 CAN 网络框架

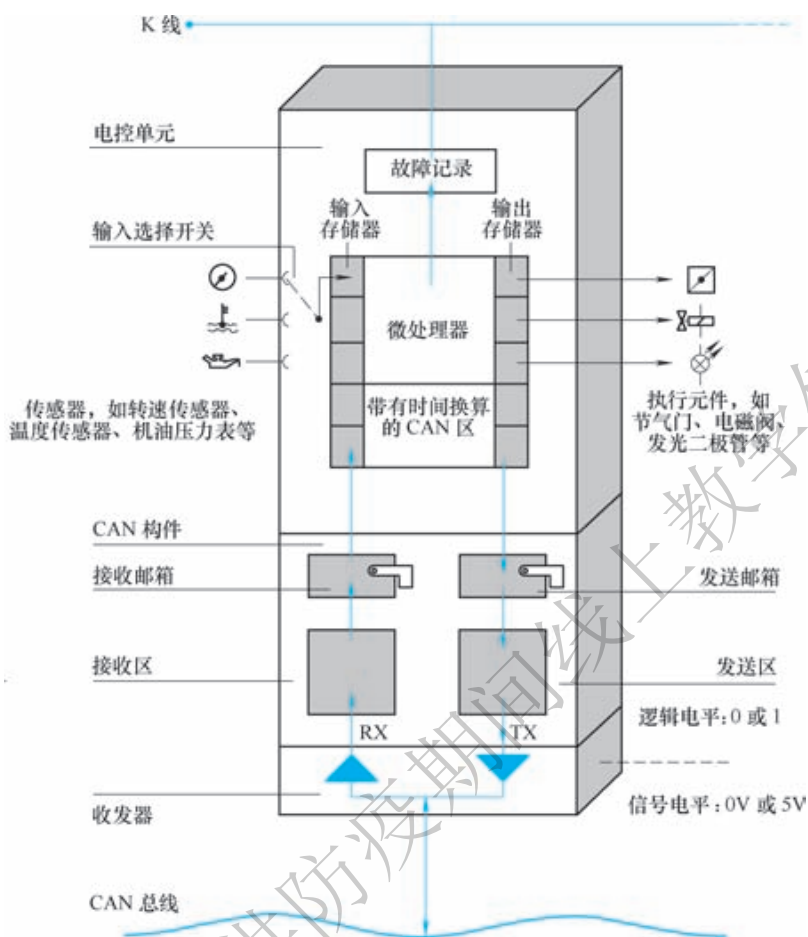


图 3-24 带有 CAN 收发功能的电控单元内部结构

辑电路组成，实现通信模型中物理层和数据链路层的功能，并对外提供与电控单元的物
理接口。通过对 CAN 控制器编程，可设置其工作方式，控制其工作状态，进行数据发送
和接收，以它为基础建立应用层。

目前，CAN 控制器可分为 CAN 独立控制器和 CAN 集成电控单元两种。CAN 独立控
制器使用灵活，可与多种类型的单片机、微型计算机的各类标准总线进行接口组合。CAN
集成电控单元在许多特定情况下，使电路设计简化和紧凑，可靠性提高。

3. CAN 收发器

CAN 收发器提供了 CAN 控制器与物理总线之间的接口，是一个发送/接收放大器。
其中，发送器将数据传输总线构件连续的比特流（逻辑电平）转换成电压值（线路传输
电平），以适合铜导线上的数据传输；接收器将电压信号转换成连续的比特流，以适合
CPU 处理。

收发器通过 TX 线（发送导线）或 RX 线（接收导线）与数据传输总线构件相连，如
图 3-25 所示。RX 线通过一个放大器直接与数据传输总线相连。

收发器是 TX 线与总线的耦合，耦合过程通过一个断路式集流器电路实现，总线出现



两种工作状态，见表 3-8。

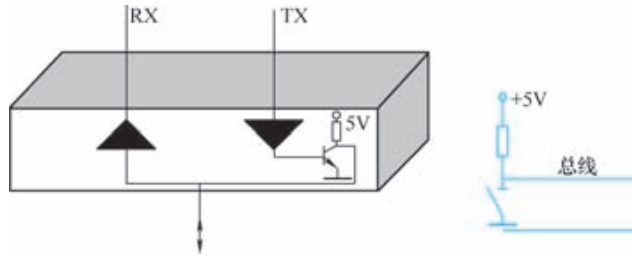


图 3-25 与 TX 线耦合的收发器

表 3-8 收发器的特点

状态	晶体管	是否有源	电阻状态	总线电平
1	截止状态 (开关未接合)	无源	高	1
0	接通状态 (开关接合)	有源	低	0

假设有 3 个收发器耦合在一根总线导线上，如图 3-26 所示，开关未接合表示 1 (无源)；开关已接合表示 0 (有源)，则收发器 C 有源，收发器 A 和 B 无源。工作过程如下：

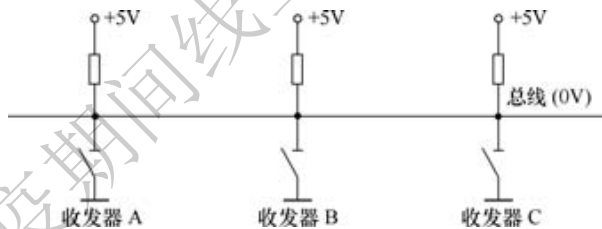


图 3-26 3 个收发器耦合于一根总线

1) 若某一开关已接合，则电阻上有电流流过，总线电压为 0V。

2) 若所有开关均未接合，则没有电流流过，电阻上没有电压降，总线电压为 5V。

上述 3 个收发器连接在 CAN 总线上的工作状态见表 3-9。

表 3-9 3 个收发器连接在 CAN 总线上的工作状态

收发器 A	收发器 B	收发器 C	总线电压
1	1	1	1 (5V)
1	1	0	0 (0V)
1	0	1	0 (0V)
1	0	0	0 (0V)
0	1	1	0 (0V)
0	1	0	0 (0V)
0	0	1	0 (0V)
0	0	0	0 (0V)

若总线处于状态 1 (无源)，可由某一个电控单元使用状态 0 (有源) 改写。将无源的总线电平称为隐性，有源的总线电平称为显性。

4. 数据传递终端

数据传递终端是一个电阻器，可避免数据传输终了反射回来，产生反射波而使数据遭到破坏。CAN 总线终端接法以及网络拓扑结构主要有以下 4 种：

(1) 分离终端 分离终端不改变终端电缆 DC 特性，而能增强 EMC 性能，如图 3-27 所示。将单个终端电阻分成两个阻值相等的电阻，如将一个 124Ω 的电阻由两个 62Ω 电阻替换。可在两个分离终端的中间插头上得到共模信号（理想情况下共模信号为 DC 电压信号），并可通过一个 10nF 或 100nF 的电容将中间插头搭铁。

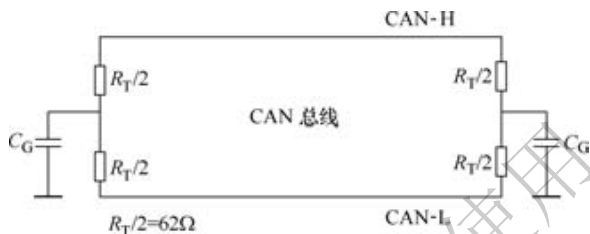


图 3-27 分离终端连接方式

分离终端的连接方法有两种，一种是将两个终端均采用分离形式单独搭铁，可优化高频性能，但两个终端电阻搭铁后，可能会通过搭铁电流形成干扰性电流；另一种是将一个终端电阻搭铁，在中频到低频的范围内，其特性更好，这种接法没有改变终端电缆的特性。

(2) 多终端 多终端与分离终端接法组合使用，形成的网络拓扑不同于总线结构。具有多个分支的星形拓扑结构如图 3-28 所示，为了适应这种拓扑结构，可采用多终端接法。要求总的终端电阻（ 60Ω ）被分成两个以上的电阻，但总的等效终端电阻不变。以具有 3 个分支的星形拓扑结构为例，将每个分支都视为一个终端，其终端电阻为总终端电阻的 3 倍（ 180Ω ）。采用这种接法，总的等效终端电阻（所有电阻并联在一起）必须与总线驱动器的输出驱动能力相匹配。

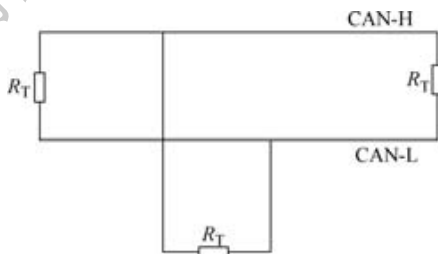


图 3-28 具有多个分支的星形拓扑结构

(3) 单终端 在某些情况下，仅仅只有一个终端电阻（ 124Ω 或 62Ω ）位于主节点中。从 CAN 位定时要求方面考虑，系统配置应确保安全。采用单终端接法的网络总线长度将小于正常终端接法总线长度的 50%。

(4) 非匹配终端 非匹配终端接法使终端电阻与线路的特性阻抗不匹配，以减少对线路双绞的要求，在同等配置下可增加驱动能力或降低功耗。其终端电阻阻值高于电缆的特性阻抗值，要求系统配置能确保安全。与采用标准终端接法相比，当终端电阻增大时，相应的总线延时会急剧增加，位速率急剧降低。

不论何种情况，不同终端的等效电阻应小于 500Ω 。例如， $2 \times 1\text{k}\Omega$ 被认为是终端电阻的上限，与采用的位速率无关。双向总线的传输延迟时间与总线的时间常数有关，时间常数等于整个网络的电容值与等效放电电阻的乘积。

5. CAN 总线

数据没有指定接收器，数据通过数据总线发送给各电控单元，各电控单元接收后进行



计算。为了防止外界电磁波干扰和向外辐射，CAN 总线采用两条线缠绕在一起，两条线上的电位相反，若一条线的电压为 5V，另一条线则为 0V，两条线的电压和总等于常值，如图 3-29 所示。通过此办法，CAN 总线免受外界电磁场干扰，同时 CAN 总线的向外辐射也保持中性，即无辐射。

大众汽车采用的 CAN 是一条现成的诊断通路，不必依靠 ISO 9141 中定义的 K 线，而仅依靠系统中的某一个电控单元作为诊断接口（或称为诊断界面）对电控单元进行故障诊断。



图 3-29 CAN 数据传输线

二、数据传输原理

以转速接收、传递和在仪表上显示过程为例，从接收到在转速表上显示的一个完整信息交换过程，可以看到数据传递的时间顺序以及 CAN 构件与电控单元之间的配合关系。

1. 信息格式转换与请求发送信息

发动机电子控制系统的曲轴位置传感器检测到转速信号，该信号以固定的周期（循环往复地）到达电控单元的输入存储器（送到发动机）。由于瞬时转速信号还用于其他电控单元，如组合仪表等，所以该信号应通过 CAN 总线传递。于是转速信号被复制到发动机电控单元的发送存储器内，然后从发送存储器进入 CAN 构件的发送邮箱内。若发送邮箱内有一个实时值，则该值由发送特征位（举起的小旗）显示出来，将发送任务委托给 CAN 构件。

发动机信息按协议被转换成 CAN 的特殊格式。CAN 特殊格式含有：“标识”为 11 位，“信息内容”为 0~8 位，“CRC”为 16 位，“应答场”为 2 位。

标识=发动机_1（转速），信号内容=转速值。发动机信息也可包括其他值，如怠速和转矩等，如图 3-30 所示。

2. 发送开始（总线空闲判断）

当发送邮箱内有一个实时值，表明发动机准备向外发送信息，CAN 构件通过 RX 线检查总线是否有源（是否正在交换其他信息），必要时会等待，直至总线空闲为止。某一时间段内的总线电平一直为 1（无源），表示总线空闲，如图 3-31 所示。

3. 发送信息

若总线空闲，则预先存在发送存储器中的“发动机转速信息”被发送出去，如图 3-32 所示。

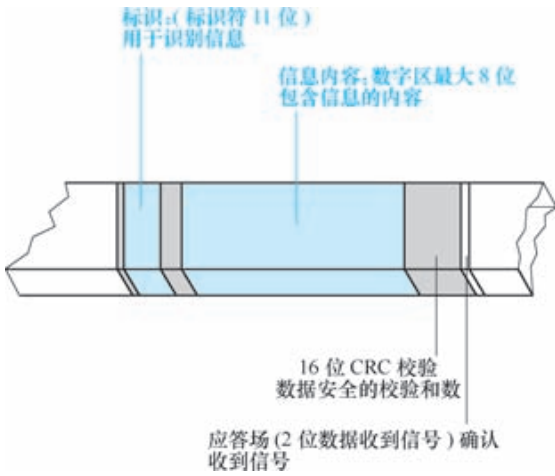


图 3-30 CAN 数据格式

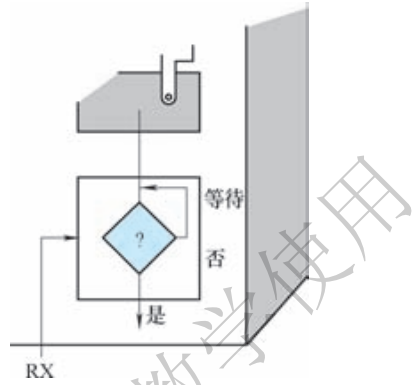


图 3-31 总线空闲判断

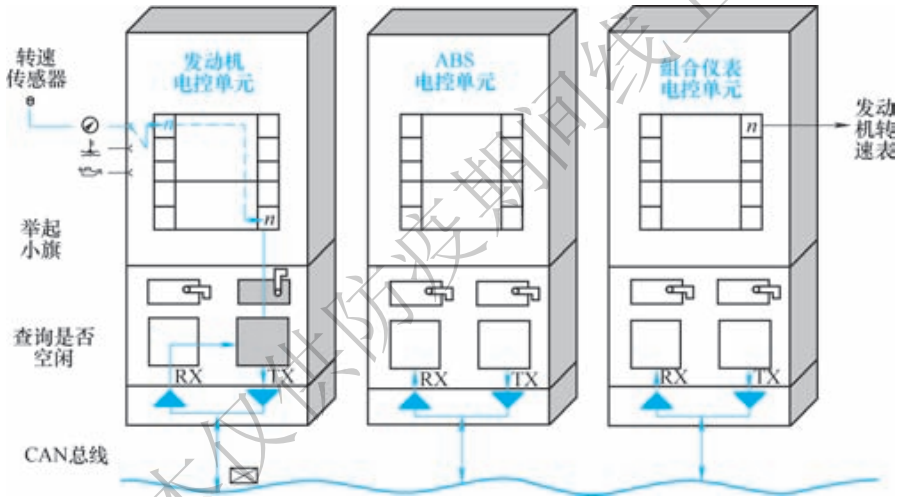


图 3-32 发送信息

4. 接收过程

接收过程分两步，如图 3-33 所示。

1) 第一步：检查信息是否正确（监控层）。

连接的所有电控单元都可以接收发动机电控单元发送的信息，该信息通过 RX 线到达 CAN 构件各自的接收区。

接收器接收发动机电控单元发送的信息（广播），并在相应的监控层通过 CRC 校验和数，确定是否有传递错误。当发送每个信息时，所有数据位产生并传递一个 16 位的校验和数。接收器按同样的规则，从所有已经接收到的数据位中计算出校验和数。随后将接收到的校验和数与计算出的校验和数进行比较。

若确定无传递错误，则连接的所有电控单元给发射器一个确认回答，即“信息收到符号”（ACK），其位于校验和数之后，如图 3-34 所示。经监控层确认后的正确数据到达

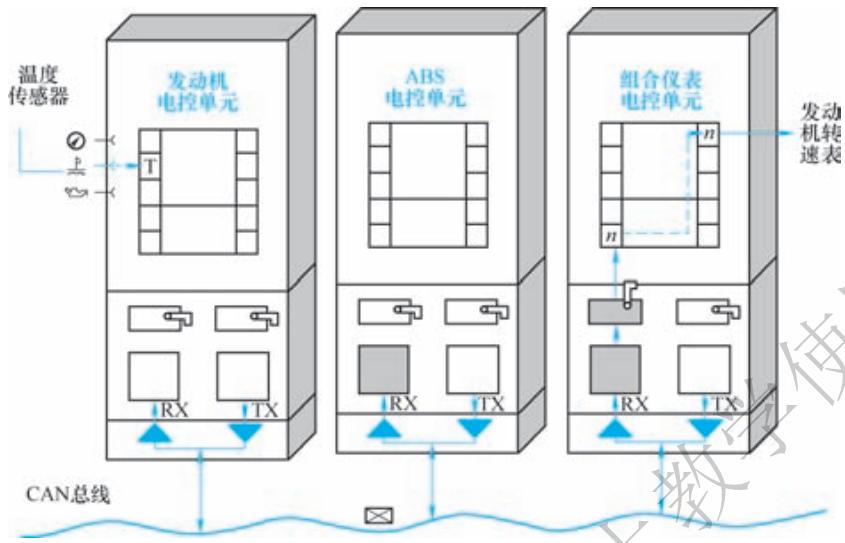


图 3-33 信息接收

CAN 构件的接收层，如图 3-35 所示。

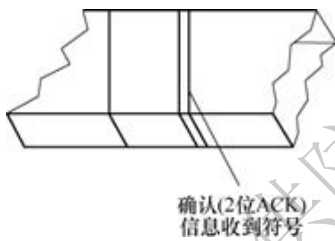


图 3-34 确认位（应答场）

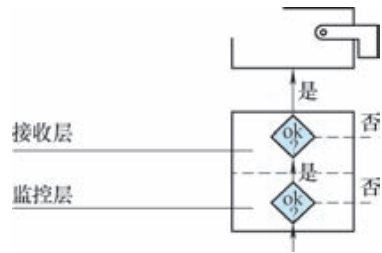


图 3-35 监控层工作原理图（所有电控单元）

2) 第二步：检查信息是否可用（接收层）。

接收到的正确信息到达相关 CAN 构件的接收层，在此决定该信息是否用于完成各电控单元的相应控制。若得到确认，该信息则进入相应的接收邮箱，否则该信息被拒收。如组合仪表工作过程需要发动机转速信号，发动机转速信息通过组合仪表的接收层检查，到达组合仪表的接收邮箱，并升起“接收旗”，以通知电控单元，如图3-36所示。

组合仪表根据升起的“接收旗”判定目前有一个信息（如转速）在排队等待处理，组合仪表调出该信息，将相应的值复制并输入存储器。

至此，通过 CAN 构件发送和接收信息的过程结束。在组合仪表内，转速经电控单元处理后到达执行元件，最后到达转速表。该信息交换过程按设定好的循环时间重复进行。

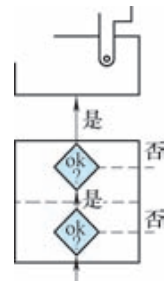


图 3-36 接收层工作原理图
（组合仪表电控单元）

5. 位仲裁

当多个电控单元同时发送信息时，数据总线会发生数据冲突。为此，CAN 总线采用了仲裁方法加以解决。

(1) 位仲裁的特点 对数据进行实时处理时，必须快速传送数据，因此，要求数据的物理传输通路有较高的速度。在几个站同时需要发送数据时，要求快速地进行总线分配。CAN 总线以报文为单位进行数据传送，报文的优先级结合在 11 位标识符中，最低二进位数的标识符具有最高的优先级。这种优先级一旦在系统设计时被确定后，不再更改。数据总线发生数据冲突，可通过位仲裁解决。

CAN 具有较高的效率是由于总线仅仅被请求总线“悬而未决”的站利用，这些请求根据报文在整个系统中的重要性按顺序处理。当网络负载较大时，由于总线读取的优先级已被按顺序放在每个报文中，可保证在实时系统中有较少的个体隐伏时间。由于 CAN 协议执行非集中化总线控制，所有主要通信，包括总线读取（许可）控制，在系统中分几次完成，这是实现有较高可靠性通信的唯一方法。

(2) 位仲裁实施过程

1) 电控单元发送的每个信息都要分配优先权，且不同的信息量具有不同的优先权（优先权隐含在数据的标识符中），优先权高的信息优先发送。

2) 所有的电控单元都是通过各自的 RX 线跟踪总线的变化，并获知总线的状态。

3) 请求发送信息的水控单元，每个发射器将对 TX 线和 RX 线的状态一位一位地进行比较，可以不一致。

4) 若某个电控单元向外发送 1（TX 线为 1），但通过 RX 线在总线接到 0，则该电控单元退出对总线的发送信息控制，转为信息接收。

用标识符中位于前部的“0”的个数即可调整信息的重要程度，从而保证按重要程度不同顺序发送信息，标识符中的号码越小，表示该信息越重要，这一方法称为仲裁。

如现有 3 个电控单元，即发动机电控单元、ABS 电控单元和组合仪表电控单元，同时向外发送信息。其中发动机电控单元向外发送信息为 10101010，ABS 电控单元向外发送信息为 10101011，组合仪表电控单元向外发送信息为 10111111。

3 个电控单元向外发送信息的第 1 位、第 2 位、第 3 位都相同，此时不存在冲突，但 3 个电控单元向外发送第 4 位信息时，若组合仪表电控单元的第 4 位为 1，其他的两个电控单元的第 4 位为 0，则此时总线的状态为 0。对于组合仪表电控单元，向外发送 1（TX 状态 1），但接收到 0（RX 状态 0），根据仲裁原则，组合仪表电控单元停止发送信息，转为接收状态，该信息等待下一次发送周期，再次请求发送。

同理，发动机电控单元和 ABS 电控单元继续向外发送信息的第 5 位、第 6 位、第 7 位（101），且这 3 位的信息相同，不存在冲突。发送第 8 位时，发动机电控单元的第 8 位为 0，而 ABS 电控单元的第 8 位为 1，则此时总线的状态为 0。对于 ABS 电控单元，向外发送 1（TX 状态 1），但接收到 0（RX 状态 0），根据仲裁原则，ABS 电控单元停止发送信息，转为接收状态，该信息等待下一次发送周期，再次请求发送。

因此，发动机电控单元接管数据总线控制权，继续发送剩余的信息，最终数据总线的信息与发动机电控单元向外发送的信息相同，如图 3-37 所示。

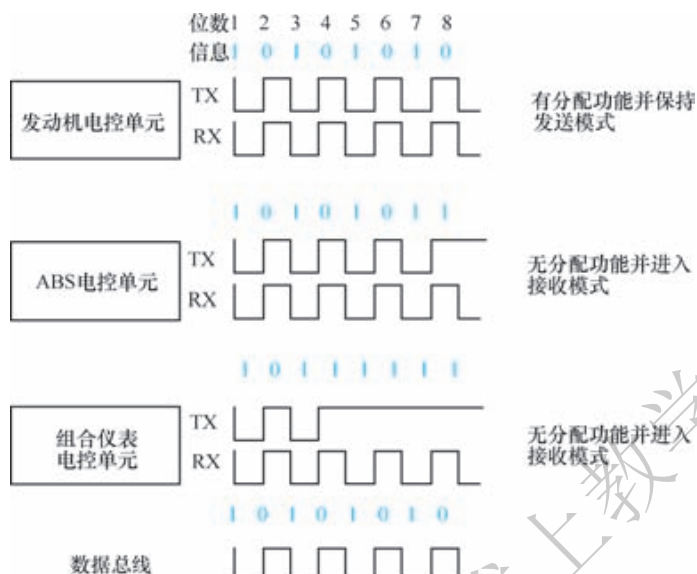


图 3-37 信息发送过程

信息与标识符见表 3-10，当多个电控单元需同时发送信息时，转向角传感器拥有最高的优先级别，其信息被优先发送。

说明：数字越小（前面的“0”多），优先级别越高。由于转向角传感器标识符数字最小，所以优先级最高，数字最先传递。

表 3-10 信息与标识符

标识符	十六进制	二进制
发动机-1	280	010 1000 0000
ABS	1A0	010 1010 0000
组合仪表	320	011 0010 0000
转向角传感器-1	0C2	000 1100 0000
自动变速器-1	440	100 0100 0000

三、高速和低速 CAN 总线

CAN 总线按数据传输速度分为两种，即高速 CAN 总线（传输速率为 250kbit/s ~ 1Mbit/s）和低速 CAN 总线（传输速率不超过 125kbit/s），低速 CAN 总线具有容错功能。

1. 高速 CAN 总线

(1) 高速 CAN 总线的差分电压信号 如图 3-38 所示，CAN-H 传送信号与 CAN-L 传送信号的相位相反。

(2) 高速 CAN 总线上节点的收发器 如图 3-39 所示，其接收器为单一的差分放大

器，电路简单，若出现故障，即时中断通信，没有容错功能和诊断电路。

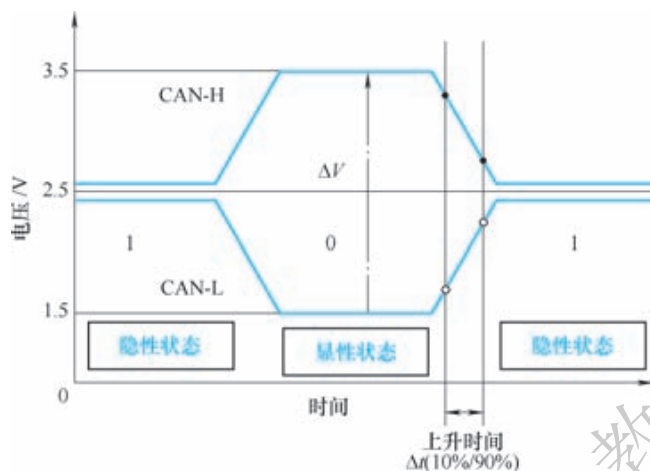


图 3-38 高速 CAN 总线上的差分电压信号

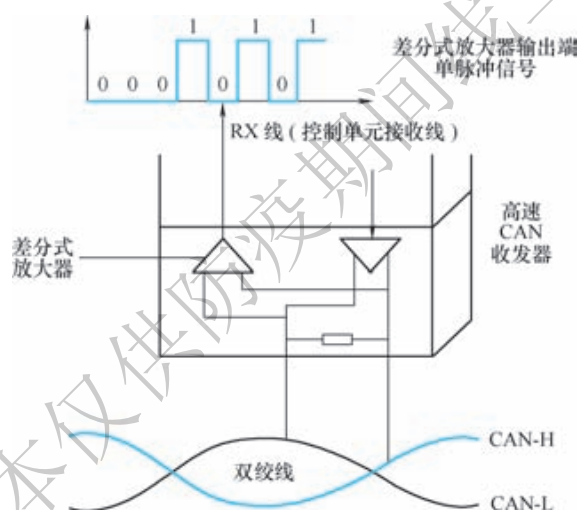


图 3-39 高速 CAN 总线上节点的收发器

收发器判断高速 CAN 总线的电平及逻辑信号见表 3-11。

表 3-11 收发器判断高速 CAN 总线的电平及逻辑信号

状态	CAN-H/V	CAN-L/V	差动输出信号电压/V	逻辑信号
显性	3.5	1.5	$3.5 - 1.5 = 2$	0
隐性	2.5	2.5	$2.5 - 2.5 = 0$	1

以下 7 种情况只有两种情况在物理层容错范围内，其他情况网络不能运行，且各个电控单元之间也不能实现通信。

- 1) CAN-H 与搭铁线短路，无法运行。
- 2) CAN-H 与电源正极短路，CAN-L 在物理层容错范围内，差分放大器可接收并放大



信号，但数值变小，可降级运行。

3) CAN-L 与搭铁线短路，CAN-H 在物理层容错范围内，差分放大器可接收并放大信号，但数值变小，可降级运行。

4) CAN-L 与正极短路，无法运行。

5) CAN-H 断路，无法运行。

6) CAN-L 断路，无法运行。

7) CAN-H 与 CAN-L 短路，无法运行。

(3) 高速 CAN 总线的休眠与唤醒 高速 CAN 数据总线系统物理层将网络活动信息告知 RX 线，RX 线唤醒 CAN 控制器中的协议控制器，实现该过程只需要 CAN 线路接口有持续供电即可。当协议控制器被唤醒时，它将停止网络休眠，执行唤醒过程。

2. 低速 CAN 总线

(1) 低速 CAN 总线的信号 低速 CAN 总线的信号为增强抗干扰和减少电流消耗，低速 CAN 总线的 CAN-H 和 CAN-L 不通过电阻相连，彼此独立作为电压源工作。低速 CAN 总线的差分电压信号如图 3-40 所示，CAN-H 传送信号和 CAN-L 传送信号的相位相反，电压数值与高速 CAN 总线有区别。

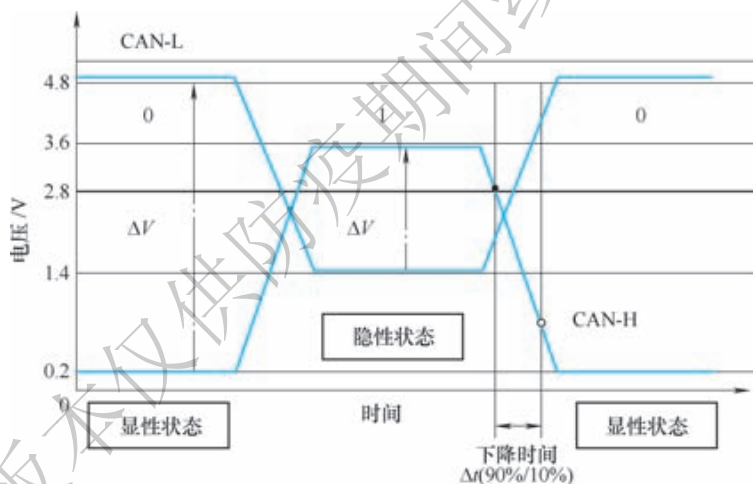


图 3-40 低速 CAN 总线的差分电压信号

(2) 低速 CAN 总线上节点的收发器 低速 CAN 总线上节点的收发器由差分信号放大器、CAN-H 信号放大器（同相放大器）、CAN-L 信号放大器（反相放大器）和故障逻辑电路组成，如图 3-41 所示。

收发器判断低速 CAN 总线的电平及逻辑信号见表 3-12，比较显性状态与隐性状态，差分输出信号电压变化高达 6.8V。

表 3-12 收发器判断低速 CAN 总线的电平及逻辑信号

状态	CAN-H/V	CAN-L/V	差动输出信号电压/V	逻辑信号
显性	3.6	1.4	$3.6 - 1.4 = 2.2 > 2$	1
隐性	0.2	4.8	$0.2 - 4.8 = -4.6 < 0$	0

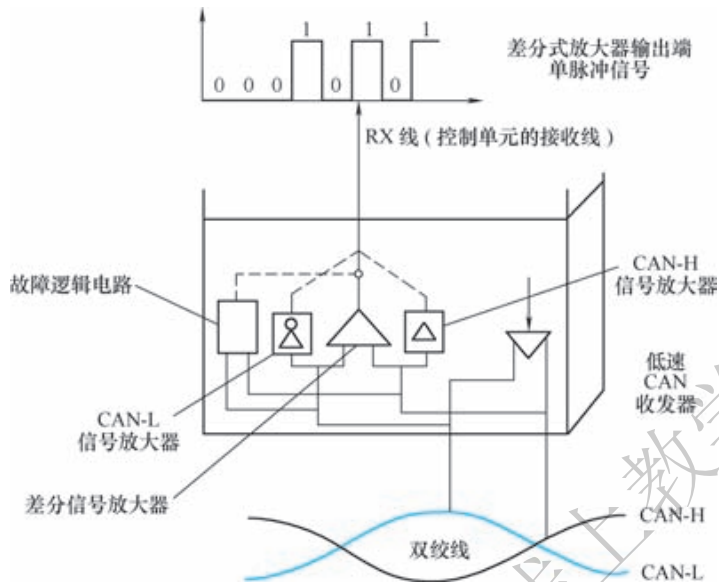


图 3-41 低速 CAN 总线上节点的收发器

故障逻辑电路判断总线的电平数值，可用以下容错功能维持数据信号传送。

1) 当低速 CAN 总线正常时，由差分信号放大器接收和放大总线信号，总线为双线工作模式。

2) 当低速 CAN-L 有故障（与搭铁线或电源正极短路、断路）时，故障逻辑电路接通 CAN-H 信号放大器，使用 CAN-H 信号，总线降级为单线工作模式。

3) 低速 CAN-H 有故障（与搭铁线或电源正极短路、断路）时，故障逻辑电路接通 CAN-L 信号放大器，使用 CAN-L 信号，总线降级为单线工作模式。

4) 当低速 CAN-H 和 CAN-L 相互短路时，故障逻辑电路将 CAN-L 自动切断，接通 CAN-H 信号放大器，使用 CAN-H 信号，总线降级为单线工作模式。

(3) 低速 CAN 总线的休眠与唤醒 通过低速 CAN 总线，系统物理层可对 CAN 总线系统的休眠与唤醒进行管理。如车辆解锁、操作车内电器等都可唤醒低速 CAN 总线系统。关闭发动机、锁住车门又可使低速 CAN 总线从工作状态转为休眠状态。

第四节 CAN 主要部件的结构原理

一、CAN 控制器

1. CAN 独立控制器 SJA1000

(1) SJA1000 的特点

1) 与 PCA82C200 独立的 CAN 控制器端子兼容、电气兼容，具有 PCA82C200 模式，



即默认的 BasicCAN 模式。

2) 扩展的接收缓冲器为 64B, 先进先出 (FIFO)。

3) 与 CAN 2.0B 协议兼容 (PCA82C200 兼容模式中的无源扩展结构), 同时支持 11 位和 29 位识别码。

4) 位速率可达 1Mbit/s。

5) 24MHz 时钟频率。

6) 对应不同电控单元的接口。

7) 可编程的 CAN 收发器配置。

8) 温度适应范围扩大 (-40~125℃)。

9) PeliCAN 模式扩展功能包括: 可读写访问的错误计数器, 可编程的错误报警限制寄存器, 最近一次错误代码寄存器, 对每一个 CAN 总线错误的中断, 具体控制位控制的仲裁丢失中断, 单次发送无重发, 只听模式 (无确认、无活动的出错标志), 支持热插拔 (软件位速率检测), 接收过滤器扩展 (4B 代码、4B 屏蔽) 和自身报文接收 (自接收请求)。

(2) SJA1000 的结构 SJA1000 的结构如图 3-42 所示, SJA1000 插接器端子布置如图 3-43 所示, 插接器端子说明见表 3-13。

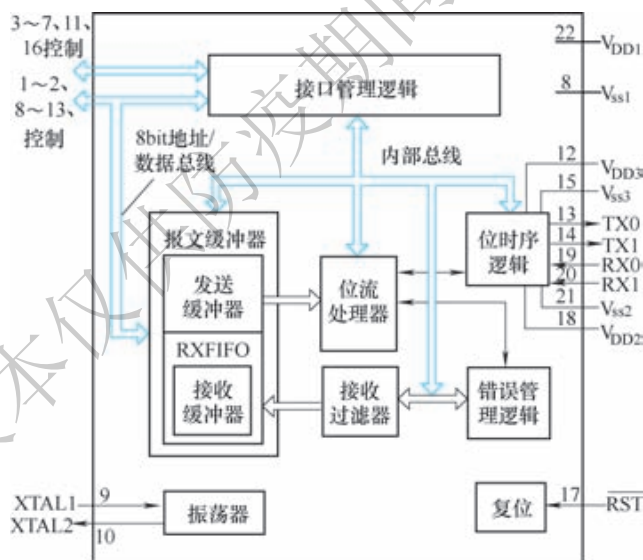


图 3-42 SJA1000 的结构

1) 接口管理逻辑 (IML) 解释来自 CPU 的命令, 控制 CAN 寄存器的寻址, 向主控制器提供中断信息和状态信息。

2) 发送缓冲器 (TXB) 是 CPU 和位流处理器 (BSP) 之间的接口, 能够存储发送到 CAN 上的完整信息。缓冲器长为 13B, 由 CPU 写入, BSP 读出。

3) 接收缓冲器 (RXB) 是接收过滤器 (ACF) 和 CPU 之间的接口, 用于存储从 CAN 接收的信息。接收缓冲器 (RXB, 13B) 作为接收 FIFO (RXFIFO, 64B) 的一个窗

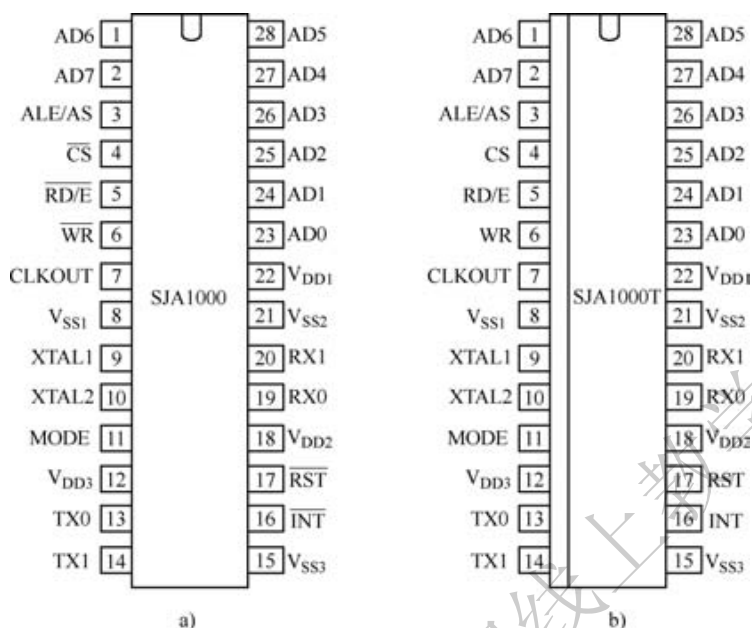


图 3-43 SJA1000 插接器端子布置

a) DIP28 b) SO28

口，可被 CPU 访问。CPU 在 FIFO 的支持下，可在处理信息时接收其他信息。

4) 位流处理器是一个在发送缓冲器、RXFIFO 和 CAN 之间控制数据流的程序装置，还执行错误检测、仲裁、总线填充和错误处理。

5) 接收过滤器将其中的数据 and 接收的识别码的内容进行比较，以决定是否接收信息。在接收测试过程中，所有的报文都保存在 RXFIFO 中。

6) 位时序逻辑 (BTL) 监视串口的 CAN 总线和处理与总线有关的位时序，在信息传输出现从隐性到显性时，同步于 CAN 总线位流 (硬同步)，接收报文时再次同步下一次传送 (软同步)。BTL 提供可编程的时间段补偿，传播延迟时间、相位转换和定义采样点以及每一位采样次数。

7) 错误管理逻辑 (EML) 负责传送层中控制器的错误管制，接收 BSP 的出错报告，使 BSP 和 IML 进行错误统计。

表 3-13 SJA1000 插接器端子说明

符号	端子	说 明
AD0~AD7	1、2、 23~28	多路地址/数据总线
ALE/AS	3	ALE 输入信号 (Intel 模式)、AS 输入信号 (Motorola 模式)
$\overline{\text{CS}}$	4	片选输入，低电平允许访问 SJA1000
$\overline{\text{RD/E}}$	5	单片机的 $\overline{\text{RD}}$ 信号 (Intel 模式) 或 E 使能信号 (Motorola 模式)



(续)

符号	端子	说 明
$\overline{\text{WR}}$	6	单片机的 $\overline{\text{WR}}$ 信号 (Intel 模式) 或 $\text{RD}/(\overline{\text{WR}})$ 信号 (Motorola 模式)
CLKOUT	7	SJA1000 产生的提供给单片机的时钟输出信号, 时钟信号来源于内部振荡器且通过编程驱动, 时钟控制寄存器的时钟关闭位可禁止该端子
V_{SS1}	8	搭铁
XTAL1	9	输入到振荡器放大电路, 外部振荡信号由此输入 ^①
XTAL2	10	振荡放大电路输出, 使用外部振荡信号时左断路输出 ^①
MODE	11	模式选择输入: 1=Intel 模式; 0=Motorola 模式
V_{DD3}	12	输出驱动的 5V 电压源
TX0	13	从 CAN 输出驱动器 0 输出到物理线路上
TX1	14	从 CAN 输出驱动器 1 输出到物理线路上
V_{SS3}	15	输出驱动器搭铁
$\overline{\text{INT}}$	16	中断输出, 用于中断单片机; $\overline{\text{INT}}$ 在内部中断寄存器各位都被置位时低电平有效; $\overline{\text{INT}}$ 是开漏输出, 与系统中其他电子元件的 $\overline{\text{INT}}$ 为线连接; 此端子上的低电平可以把 IC 从睡眠模式中激活
$\overline{\text{RST}}$	17	复位输入, 用于复位 CAN 接口 (低电平有效); 把 $\overline{\text{RST}}$ 端子通过电容连到 V_{SS} , 通过电阻连到 V_{DD} , 可自动上电复位 (如 $C=1\mu\text{F}$, $R=50\text{k}\Omega$)
V_{DD2}	18	输入比较器的 5V 电压源
RX0、RX1	19、20	从物理的 CAN 总线输入到 SJA1000 的输入比较器; 支配 (控制) 电平将会唤醒 SJA1000 的睡眠模式; 如果 RX1 比 RX0 的电平高, 就读支配 (控制) 电平, 反之, 读弱势电平; 如果时钟分频寄存器的 CBP 位被置位, 就旁路 CAN 输入比较器, 以减少内部延时 (此时连有外部收发电路), 这种情况下只有 RX0 是激活的; 弱势电平被认为是高, 而支配电平被认为是低
V_{SS2}	21	输入比较器的搭铁端
V_{DD1}	22	逻辑电路的 5V 电压源

① XTAL1 和 XTAL2 端子必须通过 15pF 的电容连到 V_{SS1} 。

SJA1000 位于单片机和收发器之间, 通过 CAN 收发器连接到 CAN 总线, 该控制器通常为一个集成电路, 如图 3-44 所示。

(3) SJA1000 的工作模式 SJA1000 有两种工作模式, 即 BasicCAN 模式 (与 PCA82C200 兼容模式) 和 PeliCAN 模式 (扩展特性)。BasicCAN 模式执行 CAN 2.0A 协议, PeliCAN 模式执行 CAN 2.0B 协议 (包括 29 位识别码)。CAN 工作模式采用时钟分频

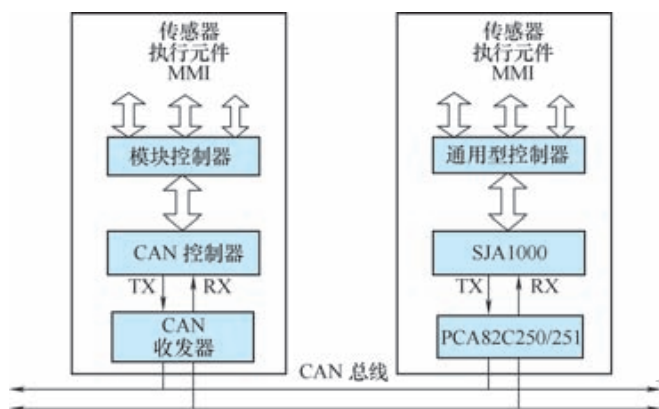


图 3-44 SJA1000 在 CAN 中的布置

寄存器选择，使用从 PCA82C200 保留下来的一位，写 0~7 之间一个值即可进入 BasicCAN 模式，默认状态是 12 分频的 Motorola 模式和 2 分频的 Intel 模式。保留的另一位补充了一些附加功能。CBP 位的置位使内部 RX 输入比较器被忽略，在使用外部传送电路时可减少内部延时，复位默认模式是 BasicCAN 模式。

CAN 控制器在上述每种模式中又都有两种状态模式，即工作模式和复位模式，处在这两种不同状态的模式中，对寄存器的访问操作功能是不同的。当硬件复位或 CAN 控制器进入总线关闭状态或检测到复位请求位为 1 时，控制器进入复位状态模式；当控制寄存器中的复位请求位为 0 时，控制器进入工作模式。

1) BasicCAN 模式。

① BasicCAN 地址分配。SJA1000 是一种具有 I/O 接口、基于内存编址的单片机。双设备的独立操作通过片内寄存器修正实现。

SJA1000 的地址区包括控制段和报文缓冲区。控制段的初始化载入是通过被编程配置通信参数（如位时序），单片机通过控制段控制 CAN 总线通信。初始化时，CLKOUT 信号被单片机编程指定一个值。

应发送的报文被写入发送缓冲器。成功接收报文后，单片机从接收缓冲器中读取接收的报文，然后释放空间用于下次使用。

单片机和 SJA1000 之间的状态、控制和命令信号的交换都在控制段完成。初始化写入后，验收代码、验收屏蔽、总线时序 0 和 1 以及输出控制均不能改变。只有控制寄存器的复位被置高位时，才可以访问这些寄存器。

BasicCAN 地址分配见表 3-14。

② 寄存器复位模式配置。检测到有复位请求后，将终止当前接收/发送的报文而进入复位模式。当向复位位传送了“1-0”的下降沿，CAN 控制器将返回工作模式。寄存器复位值见表 3-15。



表 3-14 BasicCAN 地址分配

地址	功能段	工作模式中的寄存器功能		复位模式中的寄存器功能	
		读	写	读	写
0	各类 控制 器	控制	控制	控制	控制
1		FFH ^①	命令	FFH ^①	命令
2		状态	—	状态	—
3		FFH	—	中断	—
4		FFH	—	验收代码	验收代码
5		FFH	—	验收屏蔽	验收屏蔽
6		FFH	—	总线定时 0	总线定时 0
7		FFH	—	总线定时 1	总线定时 1
8		FFH	—	输出控制	输出控制
9		测试	测试 ^②	测试	测试 ^②
10	发送 缓存器	识别码 3~10	识别码 3~10	FFH	—
11		识别码 0~2 RTR 和 DLC	识别码 0~2 RTR 和 DLC	FFH	—
12~19		数据字节 1~8	数据字节 1~8	FFH	—
20	接收 缓存器	识别码 3~10	识别码 3~10	识别码 3~10	识别码 3~10
21		识别码 0~2 RTR 和 DLC	识别码 0~2 RTR 和 DLC	识别码 0~2 RTR 和 DLC	识别码 0~2 RTR 和 DLC
22~29		数据字节 1~8	数据字节 1~8	数据字节 1~8	数据字节 1~8
30		FFH	—	FFH	—
31	时钟 分频器	时钟分频器	时钟分频器	时钟分频器 ^③	时钟分频器

① 必须注明的是寄存器在高端 CAN 地址区被重复（CPU 8 位地址的最高位不参与解码，CAN 地址 32 是和 CAN 地址 0 连续的）。

② 测试寄存器只用于产品测试，正常操作中使用这个寄存器会导致设备不可预料的行为。

③ 许多位在复位模式中是只写的（CAN 模式和 CBP）。

表 3-15 寄存器复位值

寄存器	位 域	位 符 号	位 功 能	值	
				硬件复位	软件或总线关闭 复位 CR. 0=1
控制	CR. 7	—	保留	0	0
	CR. 6	—	保留	×	×
	CR. 5	—	保留	1	1
	CR. 4	OIE	溢出中断使能	×	×
	CR. 3	EIE	错误中断使能	×	×
	CR. 2	TIE	发送中断使能	×	×
	CR. 1	RIE	接收中断使能	×	×
	CR. 0	RR	复位请求	1（复位模式）	1（复位模式）

(续)

寄存器	位域	位符号	位功能	值	
				硬件复位	软件或总线关闭 复位 CR.0=1
命令	CMR.5~CMR.7	—	保留	注 ^①	注 ^①
	CMR.4	GTS	睡眠		
	CMR.3	CDO	清除数据溢出		
	CMR.2	RRB	释放接收缓冲器		
	CMR.1	AT	终止传送		
	CMR.0	TR	发送请求		
状态	SR.7	BS	总线状态	0 (总线开启)	×
	SR.6	ES	出错状态	0 (OK)	×
	SR.5	TS	发送状态	0 (空闲)	0 (空闲)
	SR.4	RS	接收状态	0 (空闲)	0 (空闲)
	SR.3	TCS	发送完毕状态	1 (完毕)	×
	SR.2	TBS	发送缓冲器状态	1 (释放)	1 (释放)
	SR.1	DOS	数据溢出状态	0 (无溢出)	0 (无溢出)
	SR.0	RBS	接收缓冲器状态	0 (空)	0 (空)
中断	IR.5~IR.7	—	保留	1	1
	IR.4	WUI	唤醒中断	0 (复位)	0 (复位)
	IR.3	DOI	数据溢出中断	0 (复位)	0 (复位)
	IR.2	EI	错误中断	0 (复位)	× ^②
	IR.1	TI	发送中断	0 (复位)	0 (复位)
	IR.0	RI	接收中断	0 (复位)	0 (复位)
验收代码	AC.0~AC.7	AC	验收代码	×	×
验收屏蔽	AM.0~AM.7	AM	验收屏蔽	×	×
总线时序0	BTR0.7	SJW.1	同步跳转宽度1	×	×
	BTR0.6	SJW.0	同步跳转宽度0	×	×
	BTR0.5	BRP.5	波特率预设置5	×	×
	BTR0.4	BRP.4	波特率预设置4	×	×
	BTR0.3	BRP.3	波特率预设置3	×	×
	BTR0.2	BRP.2	波特率预设置2	×	×
	BTR0.1	BRP.1	波特率预设置1	×	×
	BTR0.0	BRP.0	波特率预设置0	×	×
总线时序1	BTR1.7	SAM	采样	×	×
	BTR1.6	TSEG2.2	时间段2.2	×	×
	BTR1.5	TSEG2.1	时间段2.1	×	×
	BTR1.4	TSEG2.0	时间段2.0	×	×



(续)

寄存器	位域	位符号	位功能	值	
				硬件复位	软件或总线关闭 复位 CR. 0=1
总线时序 1	BTR1. 3	TSEG1. 3	时间段 1. 3	×	×
	BTR1. 2	TSEG1. 2	时间段 1. 2	×	×
	BTR1. 1	TSEG1. 1	时间段 1. 1	×	×
	BTR1. 0	TSEG1. 0	时间段 1. 0	×	×
输出控制	OC. 7	OCTP1	输出控制晶体管 P1	×	×
	OC. 6	OCTN1	输出控制晶体管 N1	×	×
	OC. 5	OCPOL1	输出控制极性 1	×	×
	OC. 4	OCTP0	输出控制晶体管 P0	×	×
	OC. 3	OCTN0	输出控制晶体管 N0	×	×
	OC. 2	OCPOL0	输出控制极性 0	×	×
	OC. 1	OCMODE1	输出控制模式 1	×	×
	OC. 0	OCMODE0	输出控制模式 0	×	×
发送缓冲器	—	TXB	发送缓冲器	×	×
接收缓冲器	—	RXB	接收缓冲器	× ^③	× ^③
时钟分频器	—	CDR	时钟分频寄存器	00H (Intel)、 05H (Motorola)	×

注：1. “×”表示这些寄存器或位的值不受影响。

2. 括号中是功能说明。

① 读命令寄存器的结果总是“1111 1111”。

② 总线关闭时错误中断位被置位（此中断被允许情况下）。

③ RXFIFO 的内部读/写指针被设置成初始值。连续地读 RXB 会得到一些未定义的数据（部分旧报文）。发送报文时，报文并行写入接收缓冲器，但不产生接收中断且接收缓冲区是不锁定的。所以，即使接收缓冲器是空的，最近一次发送的报文也可以接收缓冲器读出，直到它被下一条发送或接收的报文取代。

硬件复位时，RXFIFO 的指针指到物理地址 0 的 RAM 单元。软件设置 CR. 0；或因为总线关闭，RXFIFO 的指针被设置到当前有效 FIFO 的开始地址，该地址不同于物理的 RAM 地址 0，而是第一次释放接收缓冲器命令后的有效起始地址。

③ 控制寄存器（CR）。CR 的内容用于改变 CAN 控制器的行为，这些位被单片机设置或复制，并对 CR 进行读/写操作。CR 各位的功能说明见表 3-16。

表 3-16 CR 各位的功能说明（CAN 地址 0）

位	符号	名称	值	功 能
CR. 5~CR. 7	—	—	—	保留 ^{①②③}
CR. 4	OIE	溢出中断 使能	1	使能：若置位数据溢出位，单片机接收溢出中断信号（见状态寄存器）
			0	禁能：单片机不从 SJA1000 接收溢出中断信号
CR. 3	EIE	错误中断 使能	1	使能：如果出错或总线状态改变，单片机接收错误中断信号（见状态寄存器）
			0	禁能：单片机不从 SJA1000 接收错误中断信号

(续)

位	符号	名称	值	功 能
CR. 2	TIE	发送中断使能	1	使能：当报文被成功发送或发送缓冲器又被访问时（如终止发送命令后），单片机接收 SJA1000 发出的一个发送中断信号
			0	禁能：单片机不从 SJA1000 接收发送中断信号
CR. 1	RIE	接收中断使能	1	使能：报文被无错接收时，SJA1000 发出一个接收中断信号到单片机
			0	禁能：单片机不从 SJA1000 接收发送中断信号
CR. 0	RR	复位请求 ^④	1	当前：SJA1000 检测到复位请求后，终止当前发送/接收的报文，进入复位模式
			0	空缺：复位请求位接收到一个下降沿后，SJA1000 回到工作模式

① CR 的任何写访问都将设置该位为逻辑 0（复位）。

② 在 PCA82C200 中这一位是用来选择同步模式的。因为这种模式不再使用了，所以这一位的设置不会影响单片机。为了软件上兼容，这一位是可以被设置的。硬件或软件复位后不改变这一位。它只反映用户软件写入的值。

③ 读此位的值总是逻辑 1。

④ 在硬复位或总线状态位设置为 1（总线关闭）时，复位请求位被置为 1（当前）。如果这些位被软件访问，其值将发生变化，而且会影响内部时钟的下一个上升沿（内部时钟的频率是外部晶振的 1/2）。在外部复位期间，单片机不能把复位请求位置为 0（空缺）。如果把复位请求位置为 0，单片机就必须检查这一位，以保证外部复位引脚不保持为低。复位请求位的变化是同内部时钟同步的。读复位请求位能够反映出这种同步状态。复位请求位被置为 0 后，SJA1000 将会等待。

④ 命令寄存器（CMR）。命令位初始化 SJA1000 传输层上的动作。CMR 只写存储器，若读该地址，返回值为 1111 1111。两条命令之间至少有一个内部时钟周期，内部时钟的频率是外部振荡频率的 1/2。CMR 各位的功能说明见表 3-17。

⑤ 状态寄存器（SR）。SR 的内容反映 SJA1000 的状态，为只读存储器。SR 各位的功能说明见表 3-18。

⑥ 中断寄存器（IR）。IR 为只读存储器，允许中断源识别。当寄存器的一位或多位被置位时， $\overline{\text{INT}}$ （低电平有效）端子被激活。寄存器被单片机读过之后，所有位复位，使 $\overline{\text{INT}}$ 端子上的电平漂移。IR 各位的功能说明见表 3-19。

⑦ 发送缓冲区列表。发送缓冲区列表见表 3-20。缓冲器用于存储单片机要 SJA1000 发送的信息，分为描述符区和数据区。发送缓冲器的读/写只能由单片机在工作状态模式下完成。在复位状态模式下读出的值总是“FFH”。

识别码（ID）：识别码有 11 位（ID. 0~ID. 10），ID. 10 是最高位，在仲裁过程中最先被发送到总线上。识别码在接收器的验收滤波器中被用到，也在仲裁过程中决定总线访问的优先级，其值越低，优先级越高。

远程发送请求（RTR）：若此位置为 1，总线将以远程帧发送数据，说明此段中没有数据字节。需要与识别码相同的数据帧来识别正确的数据长度。如果 RTR 位没有被置位，数据将以数据长度码规定的长度传送。

数据长度码（DLC）：报文数据区的字节数根据数据长度码编制。在远程帧传送中，因为 RTR 被置位，数据长度码不被考虑，迫使发送/接收数据字节数为 0。数据长度码必须正确设置，以免两个 CAN 控制器用同样的识别机制启动远程帧传送而发生总线错误。



表 3-17 CMR 各位的功能说明 (CAN 地址 1)

位	符号	名称	值	功 能
CMR. 5~CMR. 7	—	—	—	保留
CMR. 4	GTS	睡眠 ^①	1	睡眠: 若无 CAN 中断待决, 也无总线活动, SJA1000 进入睡眠模式
			0	唤醒: SJA1000 进入正常工作模式
CMR. 3	CDO	清除数据溢出 ^②	1	清除: 数据溢出状态位被清除
			0	无动作
CMR. 2	RRB	释放接收缓冲器 ^③	1	释放: 接收缓冲器 (RXFIFO) 中载有报文的内存控制被释放
			0	无动作
CMR. 1	AT	终止发送 ^④	1	当前: 如果不是正在处理, 等待中的发送请求被取消
			0	空缺: 无动作
CMR. 0	TR	发送请求 ^⑤	1	当前: 报文被发送
			0	空缺: 无动作

① 若睡眠位设置为 1, SJA1000 将进入睡眠模式, 这要求没有总线活动, 也没有等待处理中断。当设置了位 GTS = 1 时, 只要上述两种情况之一出现, 就会引起一个唤醒中断。设置成睡眠模式后, CLKOUT 信号持续至少 15 位的时间, 使得以这个信号为时钟的单片在 CLKOUT 信号变低之前进入待机模式。

如果前面提到的 3 种条件之一被破坏, 即 GTS 位被设置为低后, 总线加入活动或 $\overline{\text{INT}}$ 有效 (低电平) 时, SJA1000 将被唤醒。一旦唤醒, 振荡器就将启动而且产生一个唤醒中断。若因为总线活动而唤醒, SJA1000 就要在检测到 11 个连续的隐性位 (总线空闲序列位) 才能够接收到这个报文。在复位模式中, GTS 位是不能被置位的。在清除复位请求后, 且再一次检测到总线空闲, GTS 位才可以被置位。

② 这个命令位用于清除数据溢出位指出的数据溢出情况。如果数据溢出位被置位, 则不会再产生数据溢出中断。在释放接收缓冲器命令的同时可以发出清除数据溢出命令。

③ 读接收缓冲器之后, CPU 可以通过设置释放接收缓冲器位为 1 来释放 RXFIFO 的存储空间。这样就会导致接收缓冲器内的另一条报文立即有效, 因而再产生一次接收中断 (使能条件下)。如果没有其他有效报文, 就不会再产生接收中断, 同时接收缓冲器状态位被清 0。

④ 当 CPU 要求终止先前传送请求时使用终止传送位。例如, 在要求传送一条紧急报文时, 正在处理的传送是不停止的。要查看原报文是否成功发送, 可以通过传送完毕状态位来检测。不过, 应在发送缓冲器状态位置 1、产生发送中断后 (释放) 或出现发送中断的情况下才能实现。

⑤ 如果前一条指令中发送请求被置为 1, 它不能通过设置发送请求位为 0 来取消, 而应通过终止发送位为 0 来取消。

表 3-18 状态寄存器各位的功能说明 (CAN 地址 2)

位	符号	名称	值	功 能
SR. 7	BS	总线状态 ^①	1	总线关闭: SJA1000 退出总线活动
			0	总线开启: SJA1000 加入总线活动
SR. 6	ES	出错状态 ^②	1	出错: 至少出现一个出错计数器满或超过 CPU 报警限制
			0	正常: 两个出错计数器都在报警限制以下
SR. 5	TS	发送状态 ^③	1	发送: SJA1000 正在传送报文
			0	空闲: 没有要发送的报文
SR. 4	RS	接收状态 ^③	1	接收: SJA1000 正在接收报文
			0	空闲: 没有正在接收的报文
SR. 3	TCS	发送完毕状态 ^④	1	完毕: 最近一次发送请求被成功处理
			0	未完毕: 当前发送请求未处理完毕

(续)

位	符号	名称	值	功 能
SR. 2	TBS	发送缓冲器 状态 ^⑤	1	释放：CPU 可以向发送缓冲器写报文
			0	锁定：CPU 不能访问发送缓冲器，有报文正在等待发送或正在发送
SR. 1	DOS	数据溢出 状态 ^⑥	1	溢出：报文丢失，因为 RXFIFO 中没有足够空间存储它
			0	空缺：自从最后一次清除数据溢出命令执行，无数据溢出发生
SR. 0	RBS	接收缓冲器 状态 ^⑦	1	满：RXFIFO 中有可用报文
			0	空：无可用报文

- ① 当传输出错计数器超过限制（255）（总线状态位置 1—总线关闭），CAN 控制器就会将复位请求位置 1（当前），在错误中断允许的情况下，会产生一个错误中断。这种状态会持续到 CPU 清除复位请求位。所有这些完成之后，CAN 控制器将会等待协议规定的最短时间（128 个总线空闲信号）。总线状态位被清除后（总线开启），错误状态位被置为 0（正常），出错计数器复位且产生一个错误中断（中断允许）。
- ② 根据 CAN 2.0B 协议说明，在接收或发送时检测到错误会影响错误计数。当至少有一个出错计数器满或超出 CPU 警告限制（96）时，错误状态位被置位。在允许情况下，会产生错误中断。
- ③ 如果接收状态位和发送状态位都是 0，则 CAN 总线是空闲的。
- ④ 无论何时发送请求位被置为 1，发送完毕位都会被置为 0（未完毕）。发送完毕位的 0 会一直保持到报文被成功发送。
- ⑤ 如果 CPU 在发送缓冲器状态位是 0（锁定）时试图写发送缓冲器，则写入的字节被拒绝接收且会在无任何提示的情况下丢失。
- ⑥ 当要被接收的报文成功地通过验收滤波器后（如仲裁后之初），CAN 控制器需要在 RXFIFO 中用一些空间来存储这条报文的描述符。因此必须有足够的空间来存储接收的每一个数据字节。如果没有足够的空间存储报文，报文将会丢失且只向 CPU 提示数据溢出情况。如果这个接收到的报文除了最后一位之外都无错误，报文有效。
- ⑦ 在读 RXFIFO 中的报文并且用释放接收缓冲器命令来释放内存空间之后，这一位被清除。如果 FIFO 中还有可用报文，此位将在下一位的时隙中被重新设置。

表 3-19 IR 各位的功能说明（CAN 地址 3）

位	符号	名称	值	功 能
IR. 5~IR. 7	—	—	—	保留 ^①
IR. 4	WUI	唤醒中断 ^②	1	置位：推出睡眠模式时此位被置位
			0	复位：单片机的任何访问都将清除此位
IR. 3	DOI	数据溢出 中断 ^③	1	设置：当数据溢出中断使能位被置为 1 时，向数据溢出状态位“0-1”跳变，此位被置位
			0	复位：单片机的任何读访问都将清除此位
IR. 2	EI	错误中断	1	置位：错误中断使能时，错误状态位或总线状态位的变化会置位此位
			0	复位：单片机的任何读访问都将清除此位
IR. 1	TI	发送中断	1	置位：发送缓冲器状态从 0 变为 1（释放）和发送中断使能时，置位此位
			0	复位：单片机的任何读访问都将清除此位
IR. 0	RI	接收中断 ^④	1	置位：当接收 FIFO 不空和接收中断使能时置位此位
			0	复位：单片机的任何访问将清除此位

- ① 读这一位的值总是 1。
- ② 如果当 CAN 控制器参与总线活动或 CAN 中断正在等待时，CPU 试图进入睡眠模式，唤醒中断也会产生。
- ③ 溢出中断位（中断允许情况下）和溢出状态位同时被置位。
- ④ 接收中断位（中断允许时）和接收缓冲器状态位同时置位，接收中断位在读的时候被清除，即使 FIFO 中还有其他可用信息。一旦释放接收缓冲器命令执行后，接收缓冲器中还有其他有效报文，接收中断位（中断允许时）会在下一个 t_{SCL} 被重置。



表 3-20 发送缓冲区列表

CAN 地址	区	名称	位							
			7	6	5	4	3	2	1	0
10	描述符	标识码字节 1	ID. 10	ID. 9	ID. 8	ID. 7	ID. 6	ID. 5	ID. 4	ID. 3
11		标识码字节 2	ID. 2	ID. 1	ID. 0	RTR	DLC. 3	DLC. 2	DLC. 1	DLC. 0
12	数据	TX 数据 1	发送数据字节 1							
13		TX 数据 2	发送数据字节 2							
14		TX 数据 3	发送数据字节 3							
15		TX 数据 4	发送数据字节 4							
16		TX 数据 5	发送数据字节 5							
17		TX 数据 6	发送数据字节 6							
18		TX 数据 7	发送数据字节 7							
19		TX 数据 8	发送数据字节 8							

数据域：传送的数据字节数由数据长度码决定。发送的第一位是地址 12 单元的数据字节 1 的最高位。

⑧ 接收缓冲器。接收缓冲器是 RXFIFO 中可访问的部分，位于 CAN 地址的 20~29 之间，其全部列表与发送缓冲器类似。RXFIFO 共有 64B 的信息空间（接收缓冲器当前的可用信息是信息 1），如图 3-45 所示。在任何情况下，FIFO 中可存储的报文数取决于各条报文的长度。若 RXFIFO 中没有足够的空间存储新的报文，CAN 控制器会产生数据溢出。发生数据溢出时，已部分写入 RXFIFO 的当前报文将被删除。该信息将通过状态位或数据溢出中断发送到单片机。

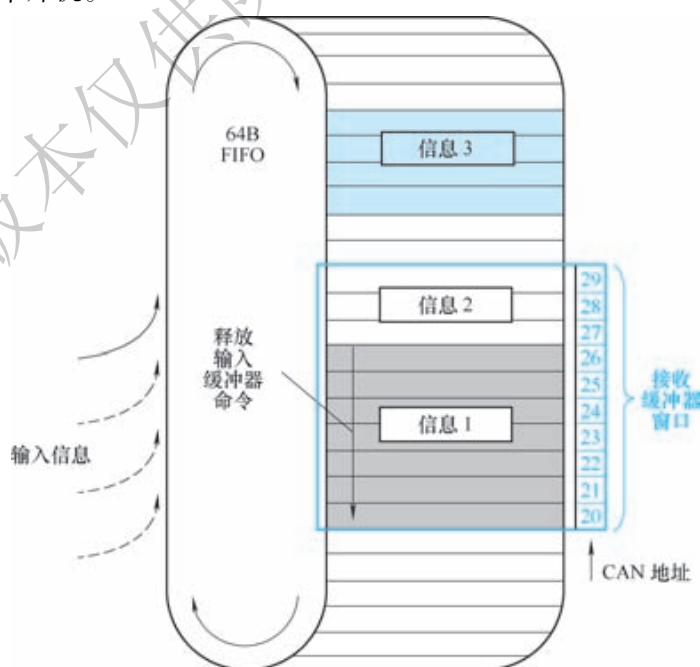


图 3-45 RXFIFO 中的报文存储

⑨ 验收滤波器。在验收滤波器的帮助下，CAN 控制器允许 RXFIFO 只接收与识别码和验收滤波器中预设值一致的信息。验收滤波器通过验收代码寄存器（ACR）和验收屏蔽寄存器（AMR）定义。

ACR 的位分配见表 3-21。

表 3-21 ACR 的位分配（CAN 地址 4）

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
AC. 7	AC. 6	AC. 5	AC. 4	AC. 3	AC. 2	AC. 1	AC. 0

当复位请求位被置高（当前）时，ACR 可访问（读/写）。如果一条信息通过验收滤波器测试，且接收缓冲器有空间，则描述符和数据将被按次序写入 RXFIFO。当信息被正确地接收完毕后，接收状态位置高（满），接收中断使能位置高（使能），接收中断位置高（产生中断）。

验收代码位（AC. 0~AC. 7）和信息识别码的高 8 位（ID. 3~ID. 10）相等，且与验收屏蔽位（AM. 0~AM. 7）的相应位或为 1，即如果满足下式，则被接收：

$$[ID. 3 \sim ID. 10 \equiv AC. 0 \sim AC. 7] \wedge [AM. 0 \sim AM. 7 \equiv 11111111]$$

举例说明（“×”符号表示任意的二进制值，报文标识码的最高 7 位不能全部为 1）如下：

【例 3-1】 设置某节点的 SJA1000 只接收报文标识码为“10101010×××”的信息，则 ACR 和 AMR 的设置如下：

$$ACR = 10101010, \quad AMR = 00000000$$

【例 3-2】 设置某节点的 SJA1000 只接收报文标识码为“111×××××××”的信息，则 ACR 和 AMR 的设置如下：

$$ACR = 111 \times \times \times \times \times, \quad AMR = 00011111$$

AMR 位配置见表 3-22。

表 3-22 AMR 位配置（CAN 地址 5）

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
AM. 7	AM. 6	AM. 5	AM. 4	AM. 3	AM. 2	AM. 1	AM. 0

如果复位请求位置高（当前），该寄存器可以被访问（读/写）；如果 AMR 位为 1，则对验收代码滤波器的相应位是“无影响的”（可为任意值）；如果验收代码寄存器位为 0，则只有相应的验收代码位（AC. 0~AC. 7）和报文标识码的高 8 位（ID. 3~ID. 10）相等的报文被接收。

2) PeliCAN 模式。

① PeliCAN 地址列表。CAN 控制寄存器的内部寄存器以外部寄存器的形式存在，而



作为片内内存使用。由于 CAN 控制器可工作在不同模式（工作/复位），因此必须区分不同的内部地址定义。从 CAN 地址 32 开始所有的内部 RAM80B 被映像为 CPU 的接口。Pelican 的地址分配见表 3-23。

表 3-23 Pelican 的地址分配

CAN 地址	工作模式				复位模式	
	读		写		读	写
0	模式		模式		模式	模式
1	00H		命令		00H	命令
2	状态		—		状态	—
3	中断		—		中断	—
4	中断使能		中断使能		中断使能	中断使能
5	保留 (00H)		—		保留 (00H)	—
6	总线定时 0		—		总线定时 0	总线定时 0
7	总线定时 1		—		总线定时 1	总线定时 1
8	输出控制		—		输出控制	输出控制
9	检测		检测 ^①		检测	检测 ^①
10	保留 (00H)		—		保留 (00H)	—
11	仲裁丢失捕捉		—		仲裁丢失捕捉	—
12	错误代码捕捉		—		错误代码捕捉	—
13	错误报警限制		—		错误报警限制	错误报警限制
14	RX 出错计数器		—		RX 出错计数器	RX 出错计数器
15	TX 出错计数器		—		TX 出错计数器	TX 出错计数器
16	RX 帧报文 SF ^②	RX 帧报文 EFF ^③	TX 帧报文 SF ^②	TX 帧报文 EFF ^③	验收代码 0	验收代码 0
17	RX 识别码 1	RX 识别码 1	TX 识别码 1	TX 识别码 1	验收代码 1	验收代码 1
18	RX 识别码 2	RX 识别码 2	TX 识别码 2	TX 识别码 2	验收代码 2	验收代码 2
19	RX 数据 1	RX 识别码 3	TX 数据 1	TX 识别码 3	验收代码 3	验收代码 3
20	RX 数据 2	RX 识别码 4	TX 数据 2	TX 识别码 4	验收屏蔽 0	验收屏蔽 0
21	RX 数据 3	RX 数据 1	TX 数据 3	TX 数据 1	验收屏蔽 1	验收屏蔽 1
22	RX 数据 4	RX 数据 2	TX 数据 4	TX 数据 2	验收屏蔽 2	验收屏蔽 2
23	RX 数据 5	RX 数据 3	TX 数据 5	TX 数据 3	验收屏蔽 3	验收屏蔽 3
24	RX 数据 6	RX 数据 4	TX 数据 6	TX 数据 4	保留 (00H)	—
25	RX 数据 7	RX 数据 5	TX 数据 7	TX 数据 5	保留 (00H)	—
26	RX 数据 8	RX 数据 6	TX 数据 8	TX 数据 6	保留 (00H)	—
27	FIFO RAM ^④	RX 数据 7	—	TX 数据 7	保留 (00H)	—
28	FIFO RAM ^④	RX 数据 8	—	TX 数据 8	保留 (00H)	—
29	RX 报文计数器		—		RX 报文计数器	—
30	RX 缓冲器起始地址		—		RX 缓冲器起始地址	RX 缓冲器起始地址
31	时钟分频器		时钟分频器 ^⑤		时钟分频器	时钟分频器

(续)

CAN 地址	工作模式		复位模式	
	读	写	读	写
32	内部 RAM 地址 0 (FIFO)	—	内部 RAM 地址 0	内部 RAM 地址 0
33	内部 RAM 地址 1 (FIFO)	—	内部 RAM 地址 1	内部 RAM 地址 1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
95	内部 RAM 地址 63 (FIFO)	—	内部 RAM 地址 63	内部 RAM 地址 63
96	内部 RAM 地址 64 (TX 缓冲器)	—	内部 RAM 地址 64	内部 RAM 地址 64
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
108	内部 RAM 地址 76 (TX 缓冲器)	—	内部 RAM 地址 76	内部 RAM 地址 76
109	内部 RAM 地址 77 (空闲)	—	内部 RAM 地址 77	内部 RAM 地址 77
110	内部 RAM 地址 78 (空闲)	—	内部 RAM 地址 78	内部 RAM 地址 78
111	内部 RAM 地址 79 (空闲)	—	内部 RAM 地址 79	内部 RAM 地址 79
112	00H	—	00H	—
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
127	00H	—	00H	—

注：CAN 的高端地址区的寄存器是重复的（CPU 地址的高 8 位不参与解码，即 CAN 地址 128 和地址 0 是连续的）。

① 测试寄存器只用于产品测试。正常工作时使用这个寄存器会使设备产生不可预料的行为。

② SF 指标准帧格式。

③ EFF 指扩展帧格式。

④ 这些地址分配反映当前报文之后的 FIFO RAM 空间。上电后的内容是随机的，并且包含了当前接收报文的下一条报文的开头。如果没有报文要接收，这里会有部分旧的报文。

⑤ 一些位在复位模式中是只写的（CAN 模式、CBP、RXINTEN 和时钟关闭）。

② 模式寄存器（MOD）。MOD 用于改变 CAN 控制器的行为方式，CPU 将控制寄存器作为读/写寄存器，可设置这些位，保留位读值为逻辑 0。

工作模式中的 MOD 各位的功能说明见表 3-24。

表 3-24 工作模式中的 MOD 各位的功能说明（CAN 地址 0）

位	符号	名称	值	功能
MOD. 5~MOD. 7	—	—	—	保留
MOD. 4	SM	睡眠模式 ^①	1	睡眠：没有 CAN 中断待决和总线活动时，CAN 控制器进入睡眠模式
			0	唤醒：从睡眠状态唤醒
MOD. 3	AFM	验收滤波器模式 ^②	1	单：选择单个验收滤波器（32 位长度）
			0	双：选择两个验收滤波器（每个有 16 位激活）
MOD. 2	STM	自检测模式 ^②	1	自检测：此模式可以检测所有节点，没有任何活动的节点使用自接收命令；即使没有应答，CAN 控制器也会成功发送
			0	正常模式：成功发送时必须要有应答信号



(续)

位	符号	名称	值	功能
MOD. 1	LOM	只听模式 ^{②③}	1	只听：在这种模式中，即使成功接收报文，CAN 控制器也不向总线发答应信号；出错计数器停止在当前值
			0	正常模式
MOD. 0	RM	复位模式 ^④	1	复位：检测到复位模式位被置位，终止当前正在接收/发送的信息，进入复位模式
			0	正常：复位模式位接收到“1—0”的跳变后，CAN 控制器回到工作模式

① 睡眠模式位设为 1 (Sleep)，SJA1000 将进入睡眠模式；没有总线活动和中断等待。至少破坏这两种情况之一时将会导致 SM 产生唤醒中断。设置为睡眠模式后，CLKOUT 信号持续至少 15 个位的时间，以允许单片机 CLKOUT 信号电平变低而被锁住之前进入准备模式。当前面提到的 3 种条件之一被破坏时，SJA1000 将被唤醒：SM 电平设为低（唤醒）之后，总线进入活动状态或 INT 被激活（变低）。唤醒后，振荡器启动且产生一个唤醒中断。只有检测到 11 个连续的隐性位（总线空闲序列）后，总线才进入活动状态。注意，在复位模式中不能设置 SM。清除复位模式后，再一次检测到总线空闲时，SM 的设置才开始有效。

② 只有先进入复位模式，才可以写 MOD. 1~MOD. 3。

③ 这种工作模式使 CAN 控制器进入错误消极状态。此时不能传送信息。以软件驱动的位置检测和“热插”时可使用只听模式。所有其他功能都能像在正常工作模式中一样使用。

④ 在硬件复位或总线状态位为 1（总线关闭）时，复位模式位也被置为 1（当前）。如果通过软件访问这一位，值将发生变化，并且下一个内部时钟（频率为外部振荡器的 1/2）的上升沿有效。在外部复位期间，单片机不能将复位模式位设置为 0（空闲）。因此，将复位模式位设为 1 后，单片机必须检查此位，以确保外部复位端子上不保持高。复位请求位的改变和内部分频时钟同步，读复位请求位能够反映出这种同步状态。复位模式位为 0 后，CAN 控制器会等待下列情况：如果上一次复位是硬件复位或 CPU 初始复位引起的，则会出现一个总线空闲信号（11 个隐性位）；如果上一次复位是 CAN 控制器在重新进入总线开启之前初始化复位引起的，则会出现 128 个总线空闲信号。

模式寄存器的复位值见表 3-25。

表 3-25 模式寄存器的复位值

位	符号	MOD. 7	SM	AFM	STM	LOM	RM
硬件复位	值	0 (保留)	0 (唤醒)	0 (双向)	0 (正常)	0 (正常)	1 (当前)
软件置 MOD. 0=1 或总线关闭		0 (保留)	0 (唤醒)	×	×	×	1 (当前)

注：“×”表示寄存器或位的值不受任何影响。

③ CMR。CMR 是命令位初始化 CAN 控制器传输层的一个动作。CMR 是只写的，所有位的读出值都是逻辑 0。两条命令之间至少有一个内部时钟周期，其频率是外部振荡器的一半。

工作模式中的 CMR 各位的功能说明见表 3-26。

表 3-26 工作模式中的 CMR 各位的功能说明（地址 1）

位	符号	名称	值	功能
CMR. 5~CMR. 7	—	保留	—	—
CMR. 4	SRR	自接收请求 ^{①②}	1	当前：信息可以被同时发送和接收
			0	空缺
CMR. 3	CDO	清除数据溢出 ^③	1	清除：数据溢出状态位被清除
			0	无动作

(续)

位	符号	名称	值	功能
CMR. 2	RR	释放接收缓冲器 ^④	1	释放：接收缓冲器（RXFIFO）中当前呈现的报文的存储空间
			0	无动作
CMR. 1	AT	终止发送 ^{⑤②}	1	当前：如果不是正在处理，将取消等待中的发送请求
			0	空缺
CMR. 0	TR	发送请求 ^{⑥⑤}	1	当前：报文被发送
			0	空缺：无动作

- ① 如果验收滤波器已设置了相应的识别码，当发送自接收请求信息时同时开始接收。接收和发送中断对自接收是有效的（MOD 的自检测模式也有类似情况）。
- ② 设置命令位 CMR. 0 和 CMR. 1 会立即产生一次信息发送。当发生错误或仲裁丢失时不会重发（单次发送）。设置命令位 CMR. 4 和 CMR. 1 会立即产生一次自接收性质的信息发送。发生错误或仲裁丢失时不会重发。设置命令位 CMR. 0、CMR. 1 和 CMR. 4 会立即产生一个信息发送。一旦 SR 的发送状态位被置位，内部发送请求就自动清除。同时，设置 CMR. 0 和 CMR. 4 会忽略 CMR. 4 位。
- ③ 这个命令位用于清除数据溢出位指出的数据溢出情况。如果数据溢出位被置位就不会再有数据溢出中断产生。
- ④ 读接收缓冲器之后，CPU 可以通过设置释放接收缓冲器位为 1 来释放 RXFIFO 的内存空间，这样会导致接收缓冲器内的另一条信息立即有效。如果没有其他有用的信息，就复位接收中断。
- ⑤ 当 CPU 需要当前请求发送等待时，如先发送一条比较紧急的信息，当前正在处理的传送不停止。要想知道源信息是否成功发送，可以通过传送完毕状态位来查看，不过这应在发送缓冲器状态位置 1 或产生发送中断后。注意：即使因为发送缓冲器状态位变为“释放”而使信息被终止，也会产生发送中断。
- ⑥ 如果前一条指令中发送请求被置为 1，它不能通过设置发送请求位为 0 来取消，而应通过终止发送位为 0 取消。CMR 的复位值见表 3-27。

表 3-27 CMR 的复位值

位符号		MOD. 7~5	SRR	CDO	RRB	AT	TR
硬件复位	值	0（保留）	0（空缺）	0（无动作）	0（无动作）	0（空缺）	0（空缺）
软件置 MOD. 0=1 或总线关闭		0（保留）	0（空缺）	0（无动作）	0（无动作）	0（空缺）	0（空缺）

- ④ SR. 反映控制器的状态，为只读内存。
工作模式中的 SR 各位的功能说明见表 3-28。

表 3-28 工作模式中的 SR 各位的功能说明（CAN 地址 2）

位	符号	名称	值	功能
SR. 7	BS	总线状态 ^①	1	总线关闭：CAN 控制器不参与总线活动
			0	总线开启：CAN 控制器参与总线活动
SR. 6	ES	出错状态 ^②	1	出错：至少出现一个出错计数器满或超过 CPU 报警限制寄存器（EWLR）定义的 CPU 报警限制
			0	正常：两个出错计数器都在报警限制以下
SR. 5	TS	发送状态 ^③	1	发送：CAN 控制器正在传送报文
			0	空闲
SR. 4	RS	接收状态 ^③	1	接收：CAN 控制器正在接收报文
			0	空闲



(续)

位	符号	名称	值	功能
SR. 3	TCS	发送完毕 状态 ^④	1	完毕：最近一次发送请求被成功处理
			0	未完：当前发送请求未处理完
SR. 2	TBS	发送缓冲器 状态 ^⑤	1	释放：CPU 可以向发送缓冲器写报文
			0	锁定：CPU 不能访问发送缓冲器，有报文正在等待发送或正在发送
SR. 1	DOS	数据溢出 状态 ^⑥	1	溢出：报文丢失，因为 RXFIFO 中没有足够的空间而丢失
			0	空缺：自从上一次清除数据溢出命令以来无数据溢出发生
SR. 0	RBS	接收缓冲器 状态 ^⑦	1	满：RXFIFO 中有可用报文
			0	空：无可用报文

- ① 当发送出错计数器超过限制 255，总线状态位被置 1（总线关闭）时，CAN 控制器将设置复位模式位为 1（当前），而且产生一个错误报警中断（相应的中断允许时）。发送出错计数器被置为 127，接收出错计数器被清除。这种模式将会保持直到 CPU 将复位模式位清除。完成这些之后，CAN 控制器将通过发送出错计数器的减 1 计数以等待协议规定的最少时间（128 个总线空闲信号）。之后总线状态位被清除（总线开启），错误状态位被置为 0（OK），出错计数器复位且产生一个错误报警中断（中断允许时）。这期间读 TX 出错计数器给出关于总线关闭修复的状态信息。
- ② 根据 CAN 2.0B 协议规定，在接收和发送期间检测到错误会影响出错计数器。至少有一个出错计数器满或超过 CPU 报警限制（EWLR）时，错误状态位被置位。中断允许时，会产生错误报警中断。EWLR 硬件复位后的默认值是 96。
- ③ 如果接收状态位和发送状态位都是 0（空闲），则 CAN 总线空闲。如果这两位都是 1，则控制器正在等待下一次空闲。硬件启动后，直到空闲状态到来必须检测到 11 个连续的隐性位。总线关闭后会产生 128 个 11 位的连续隐性位。
- ④ 一旦发送请求位或自接收请求位被置 1，发送成功状态位就会被置 0（不成功）。发送成功状态位会保持为 0 直到发送成功。
- ⑤ 如果 CPU 试图在发送缓冲器状态位是 0（锁定）时向发送缓冲器写，写入的字节将不被接收且没有任何提示的情况下丢失。
- ⑥ 当要接收的信息已经成功通过验收滤波器时，CAN 控制器需要在 RXFIFO 中有足够的空间来存储信息描述符和每一个接收的数据字节。如果没有足够的空间来存储信息，信息就会丢失，在信息变为无效时向 CPU 提示数据溢出。如果信息没有被成功接收（如由于错误），就没有数据溢出情况提示。
- ⑦ 读出 RXFIFO 中的所有信息和用释放接收缓冲器命令释放它们的内存空间之后，此位被清除。

SR 的复位值与含义见表 3-29。

表 3-29 SR 的复位值与含义

位 符 号	BS	ES	TS	RS	TCS	TBS	DOS	RBS
硬件复位	0（总线开启）	0（OK）	1（等待空闲）	0（等待空闲）	1（完成）	1（释放）	0（空缺）	0（空）
软件置 MOD. 0=1 或总线关闭	×	×	1（等待空闲）	0（等待空闲）	×	1（释放）	0（空缺）	0（空）

注：“×”表示这些寄存器或位的值不受任何影响。

⑤ IR。IR 用于识别中断源，为只读存储器。当寄存器的一位或多位被置 1 时，将 CAN 中断通知 CPU，CPU 将除接收中断位外的所有位复位。

工作模式中 IR 各位的功能说明见表 3-30。

表 3-30 工作模式中 IR 各位的功能说明 (CAN 地址 3)

位	符号	名称	值	功 能
IR. 7	BEI	总线错误中断	1	置位: 当 CAN 控制器检测到总线错误且中断使能寄存器 (IER) 中的 BEIE 被置位时, 此位被置位
			0	复位
IR. 6	ALI	仲裁丢失中断	1	置位: 当 CAN 控制器丢失仲裁, 变为接收器和 IER 的 ALIE 位被置位时, 此位被置位
			0	复位
IR. 5	EPI	错误消极中断	1	置位: 当 CAN 控制器到达消极状态 (至少一个出错计数器的计数值超过协议规定的 127) 或从错误消极状态又进入错误活动状态, 以及 IR 的 EPIE 位被置位时, 此位被置位
			0	复位
IR. 4	WUI	唤醒中断 ^①	1	置位: 当 CAN 控制器在睡眠模式中检测到总线的活动, 并且中断寄存器的 WUIE 位被置 1 时, 此位被置位
			0	复位
IR. 3	DOI	数据溢出中断	1	置位: 数据溢出状态位有“0—1”跳变且 IR 的 DOIE 位被置位时, 此位被置 1
			0	复位
IR. 2	EI	出错报警中断	1	置位: 错误状态位和总线状态位的改变和 IR 的 EIE 位被置位时, 此位被置 1
			0	复位
IR. 1	TI	发送中断	1	置位: 发送缓冲器状态从“0—1” (释放) 跳变且 IR 的 TIE 位被置位时, 此位被置 1
			0	复位
IR. 0	RI	接收中断 ^②	1	置位: 接收 FIFO 不空且 IR 的 RIE 位被置位时, 此位被置 1
			0	复位: RXFIFO 中无可用信息

① 在 CAN 控制器参与总线活动或 CAN 中断正在等待处理时, 如果 CPU 试图置位睡眠模式位, 也会产生唤醒中断。

② 除了 RI 取决于相应的中断使能位 (RIE) 之外, 此位的行为和接收缓冲器状态位是等效的, 所以读 IR 时接收中断位不被清除。释放接收缓冲器的命令可以临时清除 RI。如果执行释放命令后 FIFO 中还有可用信息, RI 被重新置位 1, 否则 RI 保持清 0 状态。

EI 为出错报警中断位。在 IER 的出错报警中断使能位 EIE 置位 1 时, 若出现总线关闭, 则出错报警中断位置 1。其余 IR 各位无论是由于硬件, 还是软件 MOD.0=1, 或总线关闭时的值都为 0。

⑥ IER。IER 使不同类型的中断源对 CPU 有效, 为可读/写存储器。IER 各位的功能说明见表 3-31。

表 3-31 IER 各位的功能说明 (CAN 地址 4)

位	符号	名称	值	功 能
IER. 7	BEIE	总线错误中断使能	1	使能: 如果检测到总线错误, 则 CAN 控制器请求相应的中断
			0	禁止总线错误中断
IER. 6	ALIE	仲裁丢失中断使能	1	使能: 如果 CAN 控制器已丢失了仲裁, 则请求相应的中断
			0	禁止仲裁丢失中断



(续)

位	符号	名称	值	功 能
IER. 5	EPIE	错误消极 中断使能	1	使能：若 CAN 控制器的错误状态改变（从消极到活动或反之），则请求相应的中断
			0	禁止错误认可中断
IER. 4	WUIE	唤醒中断使能	1	使能：若睡眠模式中的 CAN 控制器被唤醒，则请求相应的中断
			0	禁止唤醒中断
IER. 3	DOIE	数据溢出 中断使能	1	使能：若数据溢出状态位被置位（见 SR），CAN 控制器请求相应的中断
			0	禁止数据溢出中断
IER. 2	EIE	错误报警 中断使能	1	使能：如果错误或总线状态改变（见 SR），CAN 控制器请求相应的中断
			0	禁止出错报警中断
IER. 1	TIE	发送中断使能	1	使能：当信息被成功发送或发送缓存器又可访问（如终止发送命令后）时，CAN 控制器请求相应的中断
			0	禁止发送中断
IER. 0	RIE	接收中断 使能 ^①	1	使能：当接收缓冲器状态为“满”时，CAN 控制器请求相应的中断
			0	禁止接收中断

① 接收中断使能位对接收中断位和外部中断输出INT有直接的影响。如果 RIE 被清零且没有其他中断被挂起，外部INT端子电平会立即变高。另外，这里“当接收缓冲器状态为‘满’时”应理解为“当接收缓冲器中‘存在’有效报文时”，CAN 控制器请求接收中断。

⑦ 仲裁丢失捕捉寄存器（ALC）。工作模式中的 ALC 仲裁丢失的位置信息，如图 3-46 所示。ALC 为只读存储器，保留位的读值为 0。ALC 各位的功能说明见表 3-32。

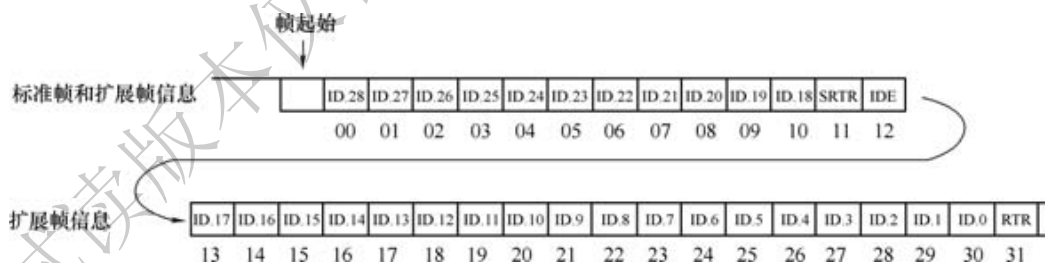


图 3-46 仲裁丢失位说明

表 3-32 ALC 各位的功能说明（CAN 地址 11）

位	符号	名称	值与功能
ALC. 5~ALC. 7	—	保留	ALC. 0~ALC. 4，这 5 位的编码数值对应仲裁丢失的位置，如 00010 对应仲裁丢失在标识码的 BIT3，01010 对应仲裁丢失在标识码的 BIT11
ALC. 4	BITN04	第 4 位	
ALC. 3	BITN03	第 3 位	
ALC. 2	BITN02	第 2 位	
ALC. 1	BITN01	第 1 位	
ALC. 0	BITN00	第 0 位	

仲裁丢失时，会产生相应的仲裁丢失中断（中断允许）。同时，位流处理器的当前位置被捕捉送入 ALC。直到通过软件读该值，ALC 中的内容才改变，随后捕捉机制再次被激活。

读 IR 时，IR 中相应的中断标志位被清除。直到 ALC 被读一次之后，新的仲裁丢失中断才有效。

硬件复位后 ALC 各位为 0，软件设置 MOD.0=1 或总线关闭对各位无影响。

⑧ 错误代码捕捉寄存器（ECC）。工作模式中的 ECC 各位的功能说明见表 3-33。表 3-34 是各位的设置说明，反映了当前结构段的不同错误事件。

表 3-33 工作模式中的 ECC 各位的功能说明（CAN 地址 12）

位	符号	名称	值	功能
ECC. 7	ERRC1	错误代码 1	—	—
ECC. 6	ERRC0	错误代码 0	—	—
ECC. 5	DIR	方向	1	RX: 接收时发生的错误
			0	TX: 发送时发生的错误
ECC. 4	SEG. 4	段 4		位 ECC. 0~ECC. 4 组合编码具有不同的功能，见表 3-34
ECC. 3	SEG. 3	段 3		
ECC. 2	SEG. 2	段 2		
ECC. 1	SEG. 1	段 1		
ECC. 0	SEG. 0	段 0		

表 3-34 ECC. 0~ECC. 4 的功能说明

ECC. 4	ECC. 3	ECC. 2	ECC. 1	ECC. 0	出错的位置及含义
0	0	0	1	1	帧开始
0	0	0	1	0	ID. 21~ID. 28
0	0	1	1	0	ID. 18~ID. 20
0	0	1	0	0	SRTR 位
0	0	1	0	1	IDE 位
0	0	1	1	1	ID. 13~ID. 17
0	1	1	1	1	ID. 5~ID. 12
0	1	1	1	0	ID. 0~ID. 4
0	1	1	0	0	RTR 位
0	1	1	0	1	保留位 1
0	1	0	0	1	保留位 0
0	1	0	1	1	数据长度代码
0	1	0	1	0	数据区
0	1	0	0	0	CRC 序列
1	1	0	0	0	CRC 界定符
1	1	0	0	1	应答时间段
1	1	0	1	1	应答界定符
1	1	0	1	0	帧结束



(续)

ECC. 4	ECC. 3	ECC. 2	ECC. 1	ECC. 0	出错的位置及含义
1	0	0	1	0	终止
1	0	0	0	1	激活错误标志
1	0	1	1	0	认可错误标志
1	0	0	1	1	显性位误差
1	0	1	1	1	错误界定符
1	1	1	0	0	溢出标志

当总线发生错误时，被迫产生相应的错误中断（中断允许时）。同时，位流处理器的当前位置被捕捉送入 ECC，其内容直到通过软件读出才改变。读出后，ECC 再次被激活。访问 IR 期间，IR 中相应的中断标志位被清除。新的总线中断直到 ECC 被读出一一次才有效。

⑨ 错误报警限制寄存器（EMLR）。错误报警限制在这个寄存器中被定义，默认值（硬件复位时）是 96。复位模式中，此寄存器可读/写，工作模式中为只读。EMLR 各位的功能说明见表 3-35。

表 3-35 EMLR 各位的功能说明（CAN 地址 13）

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
EMLR. 7	EMLR. 6	EMLR. 5	EMLR. 4	EMLR. 3	EMLR. 2	EMLR. 1	EMLR. 0

只有之前进入复位模式，EMLR 才可能被改变。直到复位模式被再次取消后，EMLR 才可能发生错误状态改变和由新的寄存器内容引起的错误报警中断。

⑩ RX 出错计数寄存器（RXERR）。RXERR 接收出错计数器的当前值，其各位的功能说明见表 3-36。硬件复位后 RXERR 被初始化为 0。工作模式中，RXERR 为只读内存；复位模式中，可写访问。若发生总线关闭，RXERR 被初始化为 0。总线关闭期间，写 RXERR 无效。

表 3-36 RXERR 各位的功能说明（CAN 地址 14）

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
RXERR. 7	RXERR. 6	RXERR. 5	RXERR. 4	RXERR. 3	RXERR. 2	RXERR. 1	RXERR. 0

只有先进入复位模式，才能迫使出错计数器发生改变。取消复位模式后，错误状态的改变、错误报警和由新的寄存器内容引起的错误中断才有效。

⑪ TX 出错计数寄存器（TXERR）。TXERR 用于反映发送出错计数器发生的当前值，其各位的功能说明见表 3-37。工作模式中，TXERR 为只读内存；复位模式中，可写访问。硬件复位后，TXERR 被初始化为 0。若总线关闭，TXERR 被初始化为 127，以计算总线定义的最短时间（128 个总线空闲信号）。这段时间读 TXERR，将反映出总线关闭恢复的状态信息。

若总线关闭是激活的，写访问 TXERR 的 0~254 单元清除总线关闭标志，复位模式清除后控制器会等待一个 11 位的连续隐性位（总线空闲）。

表 3-37 TXERR 各位的功能说明 (CAN 地址 15)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
TXERR. 7	TXERR. 7	TXERR. 7	TXERR. 7	TXERR. 7	TXERR. 7	TXERR. 7	TXERR. 7

由于软件复位是 MOD. 5 = 1 引起的复位，因此对值无影响。

清除复位模式，会执行协议规定的总线关闭恢复序列（等待 128 个总线空闲信号）。如果在总线关闭恢复（TXERR>0）之前又进入复位模式，总线关闭保持有效，并且 TXERR 被锁定。

⑫ 发送缓冲器（TXB）。TXB 的整体布局如图 3-47 所示，其分为标准帧格式（SFF）和扩展帧格式（EFF）配置。发送缓冲器允许定义长达 8B 的发送信息。



图 3-47 TXB 的整体布局

a) SFF b) EFF

发送缓冲器列表：发送缓冲器分描述符区和数据区，描述符区的第一个字节是帧信息字节（帧信息），说明帧格式（SFF 或 EFF）、远程或数据帧和数据长度。SFF 有两个字节的识别码，EFF 有 4 个字节的识别码。数据区最长为 8 个字节。发送缓冲器共有 13B 的信息空间，在 CAN 地址的 16~28。

发送缓冲器的描述符区：发送缓冲器位的列表见表 3-38~表 3-45。给出的配置与接收缓冲器列表一致。表 3-46 是帧格式 FF 和远程发送请求 RTR 位设置功能。

表 3-38 TX 帧信息 (SFF) (CAN 地址 16)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
FF ^①	RTR ^②	× ^③	× ^③	DLC. 3 ^④	DLC. 2 ^④	DLC. 1 ^④	DLC. 0 ^④

- ① 帧结构格式，FF=0 为 SFF，FF=1 为 EFF。
- ② 远程发送请求。
- ③ 在使用自接收设备（自测）时与接收缓冲器（0）兼容。
- ④ 数据长度代码位。



表 3-39 TX 识别码 1 (SFF) (CAN 地址 17)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 28	ID. 27	ID. 26	ID. 25	ID. 24	ID. 23	ID. 22	ID. 21

注：ID. ×表示识别码的×位。

表 3-40 TX 识别码 2 (SFF) (CAN 地址 18)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 20	ID. 19	ID. 18	× ^①	× ^②	× ^②	× ^②	× ^②

注：ID. ×表示识别码的×位。

① 使用自接收设备（自测）时与接收缓冲器（RTR）兼容。

② 使用自接收设备（自测）时与接收缓冲器（0）兼容。

表 3-41 TX 帧信息 (EFF) (CAN 地址 16)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
FF ^①	RTR ^②	× ^③	× ^③	DLC. 3 ^④	DLC. 2 ^④	DLC. 1 ^④	DLC. 0 ^④

① 帧结构格式。

② 远程发送请求。

③ 使用自接收设备（自测）时与接收缓冲器（0）兼容。

④ 数据长度代码位。

表 3-42 TX 识别码 1 (EFF) (CAN 地址 17)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 28	ID. 27	ID. 26	ID. 25	ID. 24	ID. 23	ID. 22	ID. 21

注：ID. ×表示识别码的×位。

表 3-43 TX 识别码 2 (EFF) (CAN 地址 18)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 20	ID. 19	ID. 18	ID. 17	ID. 16	ID. 15	ID. 14	ID. 13

注：ID. ×表示识别码的×位。

表 3-44 TX 识别码 3 (EFF) (CAN 地址 19)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 12	ID. 11	ID. 10	ID. 9	ID. 8	ID. 7	ID. 6	ID. 5

注：ID. ×表示识别码的×位。

表 3-45 TX 识别码 4 (EFF) (CAN 地址 20)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 4	ID. 3	ID. 2	ID. 1	ID. 0	× ^①	× ^②	× ^②

注：ID. ×表示识别码的×位。

① 使用自接收设备（自测）时与接收缓冲器（RTR）兼容。

② 使用自接收设备（自测）时与接收缓冲器（0）兼容。

表 3-46 帧格式 FF 和远程发送请求 RTR 位设置功能

位	值	功能
FF	1	EFF：CAN 控制器将发送扩展帧格式
	0	SFF：CAN 控制器将发送标准帧格式
RTR	1	远程：CAN 控制器将发送远程帧
	0	数据：CAN 控制器将发送数据帧

一条报文数据区的字节数由 DLC 表示。在远程帧发送开始时，由于 RTR 位被置位（远程），DLC 不用考虑，则接收/发送的数据字节数为 0。如果有两个 CAN 控制器使用同一个识别码同时启动远程帧传送，DLC 必须正确说明，以免出现总线错误。

数据字节长度为 0~8 的编码形式：

$$\text{数据字节数} = 8 \times \text{DLC}.3 + 4 \times \text{DLC}.2 + 2 \times \text{DLC}.1 + \text{DLC}.0$$

为了兼容，字节数大于 8 的 DLC 不可用。若大于 8，以 8B 计。

识别码（ID）：SFF 的识别码有 11 位（ID. 18~ID. 28），EFF 的识别码有 29 位（ID. 0~ID. 28）。ID. 28 是最高位，在总线仲裁过程中最先发送到总线上。识别码用于验收滤波器，在仲裁过程中决定了总线访问的优先权。识别码的二进制值越低，优先权越高。

数据区：发送的字节数取决于 DLC。最先发送的是在 CAN 地址 19（SFF）或 21（EFF）的数据字节 1 的最高位。

TXB 的复位值：当硬件复位、由于软件设置 MOD. 0=0 或总线关闭引起复位时，发送缓冲器的值不受影响。

⑬ 接收缓冲器。接收缓冲器的布局与发送缓冲器相似，是 RXFIFO 的可访问部分，位于 CAN 地址的 16 和 28。每条信息都分为描述符和数据区，如图 3-48 所示。

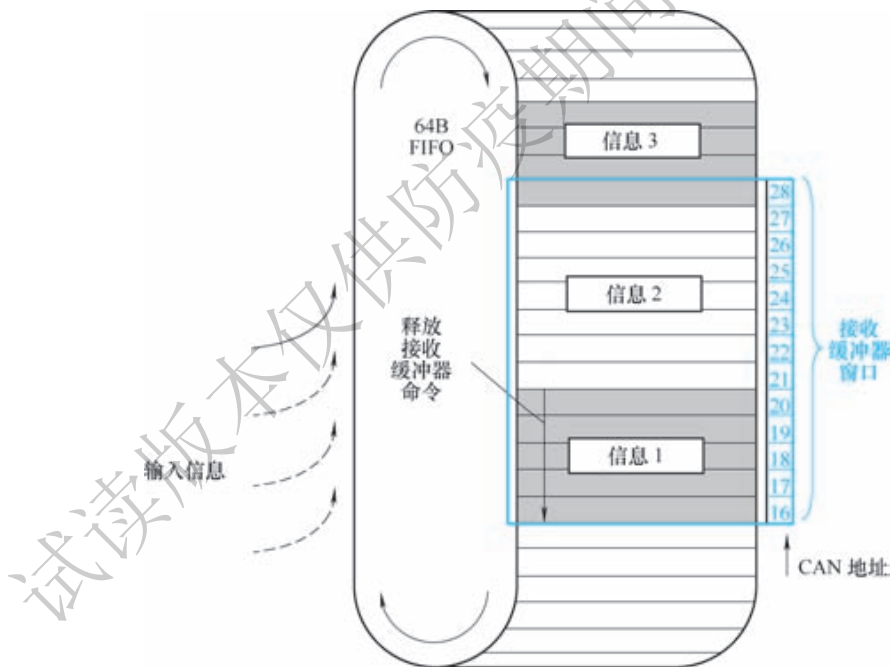


图 3-48 RXFIFO 中的信息存储

注：接收缓冲器中当前的可用信息是信息 1。

描述符区：接收缓冲器的位列表见表 3-47~表 3-54，所选配置与接收缓冲器列表相同。



表 3-47 RX 帧信息 (SFF) (CAN 地址 16)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
FF ^①	RTR ^②	0	0	DLC. 3 ^③	DLC. 2 ^③	DLC. 1 ^③	DLC. 0 ^③

① 帧结构格式, FF=0 为 SFF, FF=1 为 EFF。

② 远程发送请求。

③ 数据长度代码。

表 3-48 RX 识别码 1 (SFF) (CAN 地址 17)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 28	ID. 27	ID. 26	ID. 25	ID. 24	ID. 23	ID. 22	ID. 21

注: ID. ×表示识别码的×位。

表 3-49 RX 识别码 2 (SFF) (CAN 地址 18)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 20	ID. 19	ID. 18	RTR ^①	0	0	0	0

注: ID. ×表示识别码的×位。

① 远程发送请求。

表 3-50 RX 帧信息 (EFF) (CAN 地址 16)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
FF ^①	RTR ^②	0	0	DLC. 3 ^③	DLC. 2 ^③	DLC. 1 ^③	DLC. 0 ^③

① 帧结构格式, FF=0 为 SFF, FF=1 为 EFF。

② 远程发送请求。

③ 数据长度代码。

表 3-51 RX 识别码 1 (EFF) (CAN 地址 17)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 28	ID. 27	ID. 26	ID. 25	ID. 24	ID. 23	ID. 22	ID. 21

注: ID. ×表示识别码的×位。

表 3-52 RX 识别码 2 (EFF) (CAN 地址 18)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 20	ID. 19	ID. 18	ID. 17	ID. 16	ID. 15	ID. 14	ID. 13

注: ID. ×表示识别码的×位。

表 3-53 TX 识别码 3 (EFF) (CAN 地址 19)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 12	ID. 11	ID. 10	ID. 9	ID. 8	ID. 7	ID. 6	ID. 5

注: ID. ×表示识别码的×位。

表 3-54 TX 识别码 4 (EFF) (CAN 地址 20)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
ID. 4	ID. 3	ID. 2	ID. 1	ID. 0	RTR ^①	0	0

注: ID. ×表示识别码的×位。

① 远程发送请求位。



数据区：帧信息字节中的接收字节长度代码代表实际发送的数据长度码，可能大于8（取决于发送器）。通常，最大接收数据字节数为8。

RXFIFO 共有 64 个报文字节的空间，一次可存储的报文数取决于数据字节长度。如果 RXFIFO 中没有足够的空间存储新的报文，当此报文有效且通过验收检测（滤波）时，CAN 控制器会发生数据溢出。当发生数据溢出情况时，已部分写入 RXFIFO 的报文被删除，并通过 SR 和数据溢出中断（若中断允许时）反映到 CPU。

RXB 的复位值：RXFIFO 的内部读/写指针复位到初始化值。连续读取 RXB，会得到一些不确定值（部分是旧报文）。若有报文被发送，则被并行写入接收缓冲器。只有当传送自接收请求引起的报文才会产生接收中断。即使接收缓冲器是空的，最后一次发送的报文也可从接收缓冲器中读出，除非被下一条要发送或接收的报文覆盖。硬件复位时，RXFIFO 的指针指向物理 RAM 地址 0。通过软件设置 MOD.0=1 或总线关闭，使 RXFIFO 的指针指向当前有效 FIFO 的起始地址（RBSA，RX 缓冲器的起始地址寄存器），该地址不同于第一次释放接收缓冲器命令后的 RAM 地址 0。

⑭ 验收滤波器。在验收滤波器的作用下，只有当接收信息中的识别位和验收滤波器预定义的值相等时，CAN 控制器才允许将已接收的信息存入 RXFIFO。

验收滤波器由验收代码寄存器（ACR_n）和验收屏蔽寄存器（AMR_n）定义。要接收的信息的位模式在验收代码寄存器中定义。相应的验收屏蔽寄存器允许定义某些位为“无关”，即可为任意值。

在 MOD 中有两种不同的过滤模式可供选择（MOD.3，AFM），即单滤波器模式（AFM 位是 1）和双滤波器模式（AFM 位是 0）。

单滤波器配置：可定义一个长滤波器（4B），滤波器字节和信息字节之间位的对应关系取决于当前接收的帧格式。

若接收到 SFF 的信息，在验收滤波中只使用前两个数据字节存放包括 RTR 位的完整的识别码。若由于置位 RTR 位而导致没有数据字节，或因为设置相应的 DLC 而没有或只有一个数据字节，信息也被接收。对于成功接收的信息，经位比较后必须发出接收信号，如图 3-49 所示。图中 DBX.Y 表示数据字节 X、位 Y，AMR1 和 AMR2 的低 4 位不可用。

若接收到 EFF 的信息，包括位的全部识别码将被接收过滤使用。为了成功接收信息，每个位经比较后都必须发出接收信号，如图 3-50 所示。AMR3 的最低两位和 ACR3 不可用。为了与将来产品兼容，这些位应通过置位 AMR3.1 和 AMR3.0 定义为“无关”。

双滤波器配置：可定义两个短滤波器，两个滤波器对接收的一条信息进行比较，决定是否放入接收缓冲器。滤波器字节和信息字节之间位的对应关系取决于当前接收的帧格式。

若接收到 SFF 的信息，定义的两个滤波器则不同。第一个滤波器比较包括 RTR 位的整个标准识别码和信息的第一数据字节，第二个滤波器只比较包括 RTR 位的整个标准识别码，如图 3-51 所示。为了成功接收信息，所有单个位进行比较时，应至少有一个滤波器表示为“接收”。如果 RTR 位置位或 DLC 是 0 时，表示没有数据字节存在；然而只要从开始到 RTR 的各位比较结果都为“接收”，信息即可通过滤波器 1。如果没有数据字节向滤波器请求过滤，AMR1 和 AMR3 的低 4 位必须被置为 1（“无关”）。此时，两个滤



波器的识别工作都是验证整个标准识别码以及 RTR 位。

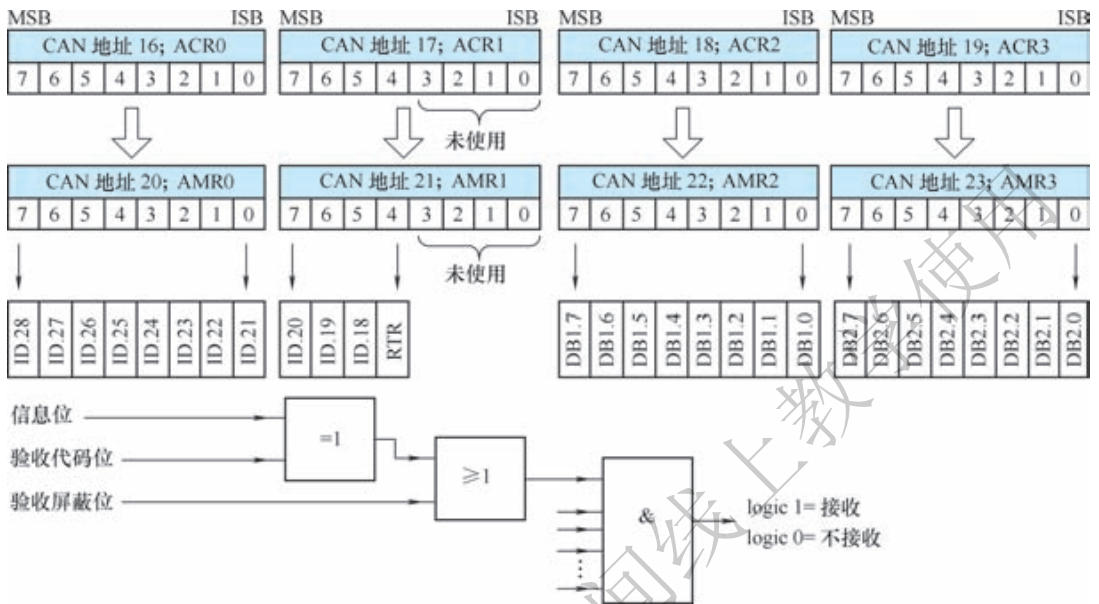


图 3-49 接收标准帧报文时的单个滤波器配置

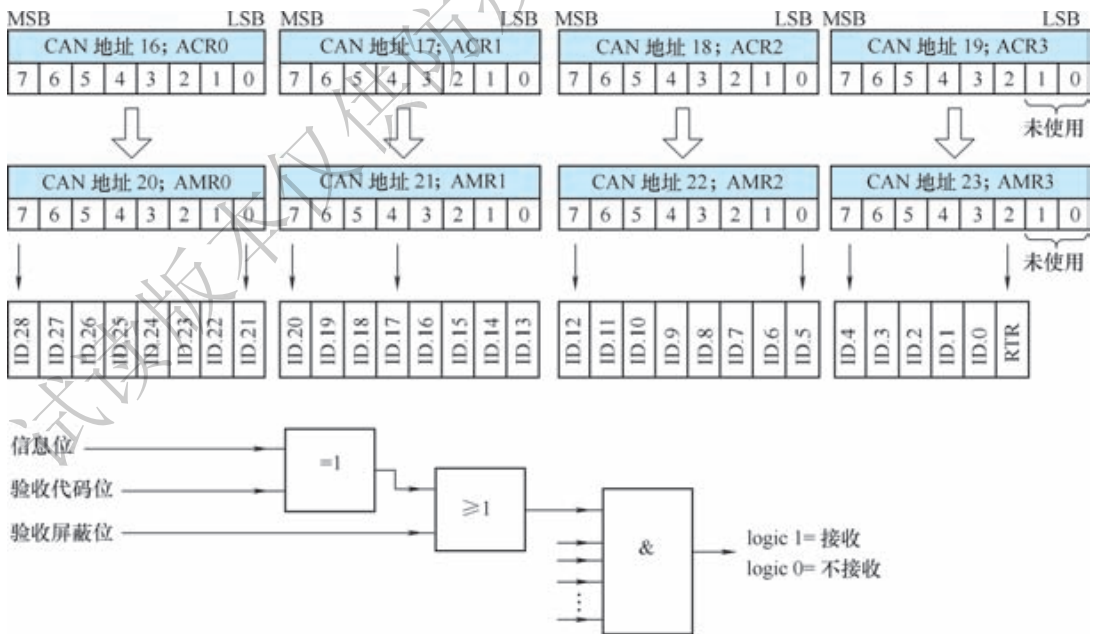


图 3-50 接收扩展帧报文时的单个滤波器配置

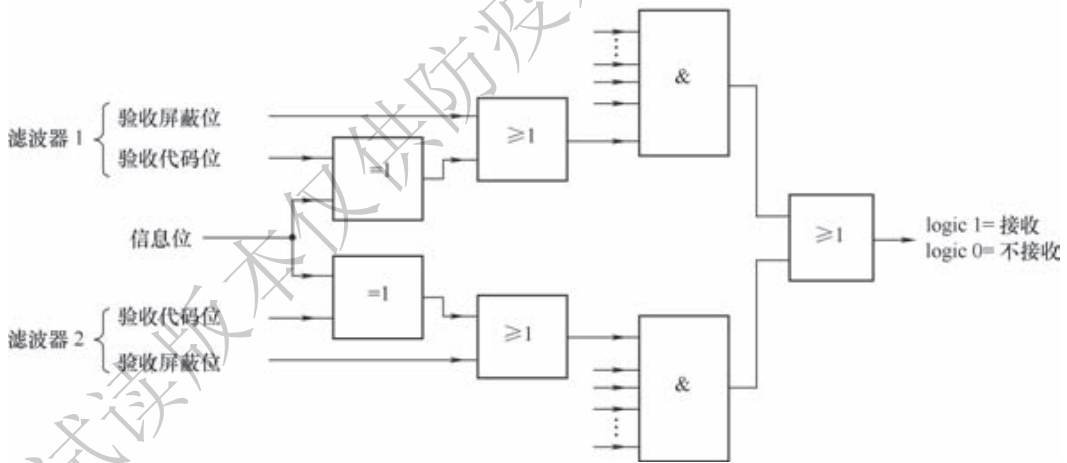
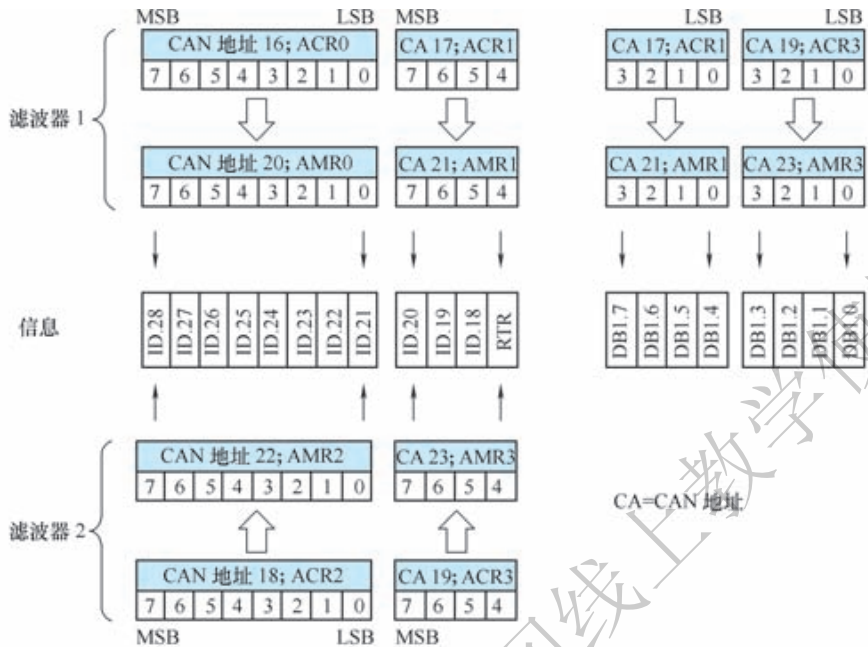


图 3-51 接收标准帧报文的双滤波器配置

若接收到 EFF 的信息，定义的两个滤波器相同。两个滤波器都只比较扩展识别码的前两个字节，如图 3-52 所示。为了能成功接收信息，所有单个位进行比较时至少有一个滤波器表示为“接收”。

⑮ RX 信息计数器 (RMC)。RMC 反映了 RXFIFO 中可用的信息数目，其各位的功能说明见表 3-55。其值每次接收时加 1，每次释放接收缓冲器减 1。每次复位后，该计数器清 0。

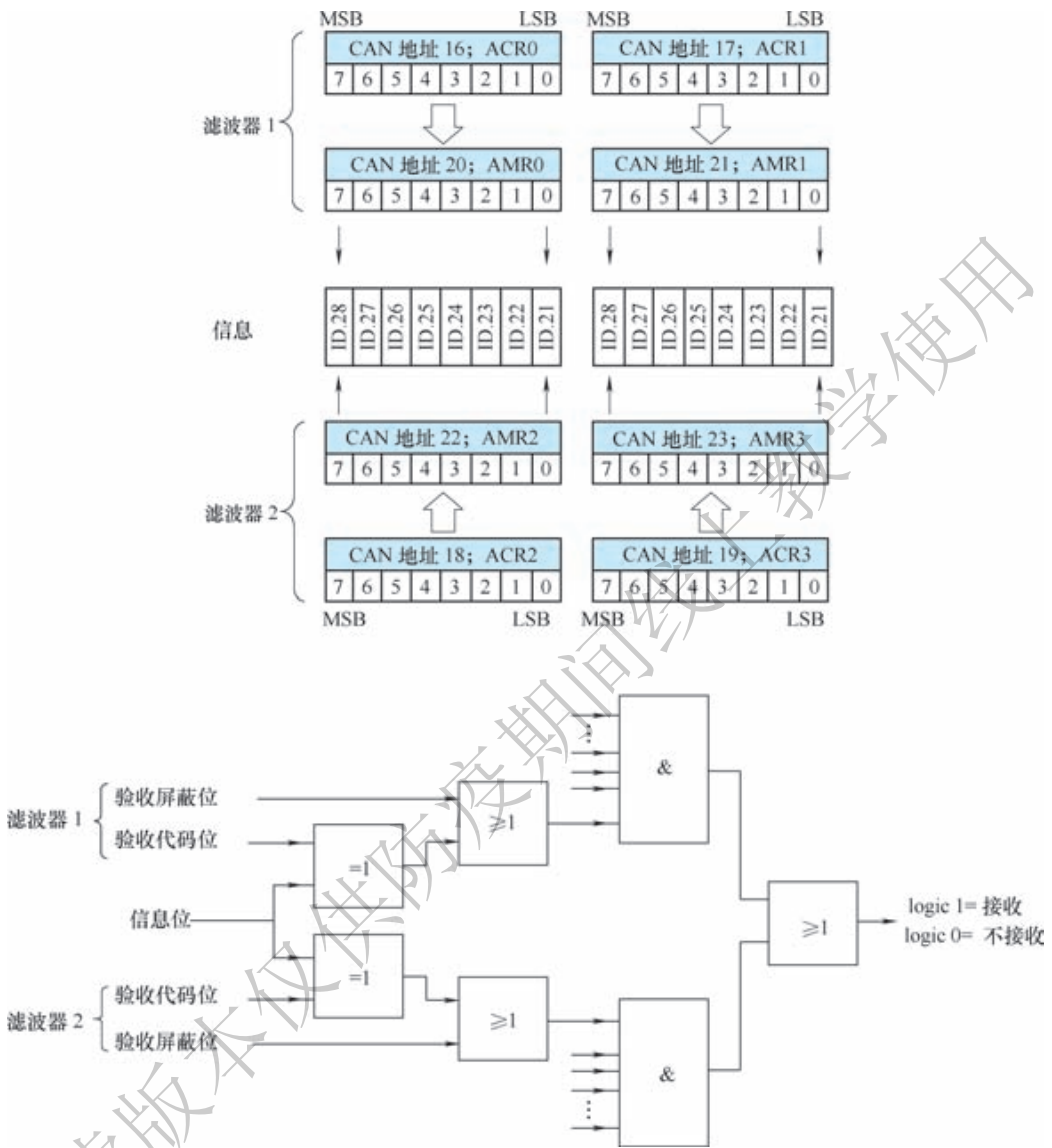


图 3-52 接收扩展帧报文的双滤波器配置

表 3-55 RX 信息计数器各位的功能说明

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
0 ^①	0 ^①	0 ^①	RMC. 4	RMC. 3	RMC. 2	RMC. 1	RMC. 0

① 此位不能被写，读该计数器时结果总为 0。

⑩ RX 缓冲器起始地址寄存器 (RBSA)。RBSA 反映了当前可用来存储位于接收缓冲器窗口中信息的内部 RAM 地址，其各位的功能说明见表 3-56。信息可帮助说明 RAM 的内容，起始于 CAN 地址 32 的内部 RAM 地址区可被 CPU 读/写访问（复位模式只能写）。

表 3-56 RBSA 各位的功能说明 (CAN 地址 30)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
0 ^①	0 ^①	RBSA. 5	RBSA. 4	RBSA. 3	RBSA. 2	RBSA. 1	RBSA. 0

① 此位不能被写, 读该寄存器时结果总为 0。

【例 3-3】 若 RBSA 被设置为 24 (十进制), 当前在接收缓冲器窗口中的可视信息被存储在 RAM 内部, 起始地址为 24。由于 RAM 也被直接列入 CAN 地址空间 (起始地址为 32, 等于 RAM 地址 0), 因此该信息也可用 CAN 地址 56 及随后字节地址访问。

$$\text{CAN 地址} = \text{RBSA} + 32 = 24 + 32 = 56$$

如果信息超过 RAM 地址 63, 会从地址 0 继续。

当 FIFO 中至少有一条可用信息时, 执行释放接收缓冲器命令, RBSA 在下一条信息开始时更新。

硬件复位时, 指针初始化为“00H”; 软件复位 (设置为复位模式) 时, 指针保持原值, 但 FIFO 被清空。说明 RAM 的内容不变, 但下一条接收的 (或传送的) 信息将会覆盖当前在接收缓冲器窗口中的可视信息。

RBSA 在工作模式中为只读, 在复位模式中可读/写。注意: 写访问 RBSA 首次有效是在下一个内部时钟频率的上升沿, 内部时钟频率是外部振荡器的 1/2。

3) 命令寄存器。

① 总线定时寄存器 0 (BTR0)。BTR0 定义了波特率预设值 (BRP) 和同步跳转宽度 (SJW) 值, 其各位的功能说明见表 3-52。当复位模式有效时, BTR0 可以被访问 (读/写)。若选择 PeliCAN 模式, 则 BTR0 在工作模式中为只读; 在 BasicCAN 模式中总是“FFH”。

表 3-57 BTR0 各位的功能说明 (CAN 地址 6)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
SJW. 1	SJW. 0	BRP. 5	BRP. 4	BRP. 3	BRP. 2	BRP. 1	BRP. 0

$$\text{BRP} = 32 \times \text{BRP. 5} + 16 \times \text{BRP. 4} + 8 \times \text{BRP. 3} + 4 \times \text{BRP. 2} + 2 \times \text{BRP. 1} + \text{BRP. 0}$$

CAN 时钟 t_{SCL} 的周期可编程, 且决定了相应的位时序。 t_{SCL} 计算公式如下

$$t_{\text{SCL}} = 2t_{\text{CLK}}(\text{BRP} + 1) = 2(\text{BRP} + 1)/f_{\text{XTAL}}$$

式中 t_{CLK} ——XTAL 的频率周期 ($1/f_{\text{XTAL}}$);

f_{XTAL} ——晶振频率。

为了补偿在不同总线控制器的时钟振荡器之间的相位偏移, 任何总线控制器必须在当前传送的相关信号边沿重新同步。同步跳转宽度 t_{SJW} 定义了每一位周期可以被重新同步缩短或延长的时钟周期的最大值。

$$t_{\text{SJW}} = t_{\text{SCL}}(2 \times \text{SJW. 1} + \text{SJW. 0} + 1)$$

② 总线定时寄存器 1 (BTR1)。BTR1 定义了每个位周期的长度、采样点的位置和在每个采样点的采样数目, 其各位的功能说明见表 3-58。在复位模式中, BTR1 可被读/写



访问。在 Pelican 模式的工作模式中，BTR1 为只读；在 BasicCAN 模式中总是“FFH”。系统中所有的节点对于这两个总线定时器的设置必须相同，否则系统可能无法通信。

表 3-58 BTR1 各位的功能说明 (CAN 地址 7)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
SAM	TSEG2. 2	TSEG2. 1	TSEG2. 0	TSEG1. 3	TSEG1. 2	TSEG1. 1	TSEG1. 0

采样位的功能说明见表 3-59。

表 3-59 采样位的功能说明

位	值	功 能
SAM	1	3 倍：总线采样 3 次；使用低/中速总线 (A 类和 B 类)，有利于过滤总线上的毛刺波
	0	单倍：总线采样一次，用于高速总线 (C 类)

时间段 1 (TSEG1) 和 时间段 2 (TSEG2) 决定了每一位的时钟数目和采样的位置 (见图 3-53)，其中

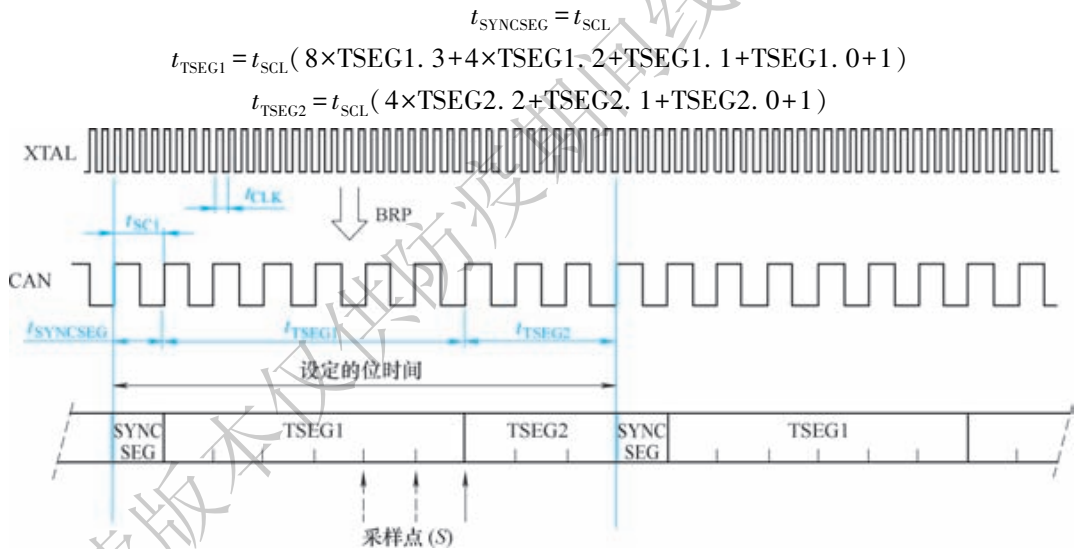


图 3-53 一个位周期的整体结构

③ SJA1000 的 BRP 计算。

1 个系统时钟

$$t_{\text{SCL}} = 2(\text{BRP} + 1) / f_{\text{XTAL}}$$

1 个位周期

$$t_{\text{BIT}} = t_{\text{SYNCSEG}} + t_{\text{TSEG1}} + t_{\text{TSEG2}}$$

则

$$\text{BRP} = 1 / t_{\text{BIT}}$$

设置 BTRO 和 BTR1 参数后，实际传输的波特率范围为

$$\text{BRP}_{\text{max}} = 1 / (t_{\text{BIT}} - t_{\text{SJW}})$$

$$BRP_{\min} = 1 / (t_{\text{BIT}} + t_{\text{SJW}})$$

【例 3-4】 $f_{\text{XTAL}} = 16\text{MHz}$, $BRP = 9$, 则

$$t_{\text{SYNCSEG}} = t_{\text{SCL}} \text{ (二者恒相等)}, t_{\text{SJW}} = 4t_{\text{SCL}}$$

$$t_{\text{TSEG1}} = 4t_{\text{SCL}}, t_{\text{TSEG2}} = 3t_{\text{SCL}}$$

计算波特率

$$t_{\text{SCL}} = 2 \times (9 + 1) / 16 \mu\text{s} = 1.25 \mu\text{s}$$

$$t_{\text{BIT}} = (1 + 4 + 3) \times 1.25 \mu\text{s} = 10 \mu\text{s}$$

$$BRP = 1 / t_{\text{BIT}} = 100\text{kbit/s}$$

实际传输的波特率范围

$$BRP_{\max} = 1 / (10 - 4 \times 1.25) \text{kbit/s} = 200\text{kbit/s}$$

$$BRP_{\min} = 1 / (10 + 4 \times 1.25) \text{kbit/s} = 66.6\text{kbit/s}$$

BTR0 和 BTR1 的初始化为

$$BTR0 = 0C9H \quad BTR1 = 0A3H$$

④ 输出控制寄存器 (OCR)。OCR 实现了由软件控制建立不同输出驱动的配置输出控制寄存器, 其各位的功能说明见表 3-60。收发器的输入/输出控制逻辑如图 3-54 所示。在复位模式中, OCR 可被读/写访问。在 PeliCAN 模式的工作模式中, OCR 为只读; 在 BasicCAN 模式中总是“FFH”。

表 3-60 OCR 各位的功能说明 (CAN 地址 8)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
OCTP1	OCTN1	OCPOL1	OCTP0	OCTN0	OCPOL0	OCMODE1	OCMODE0

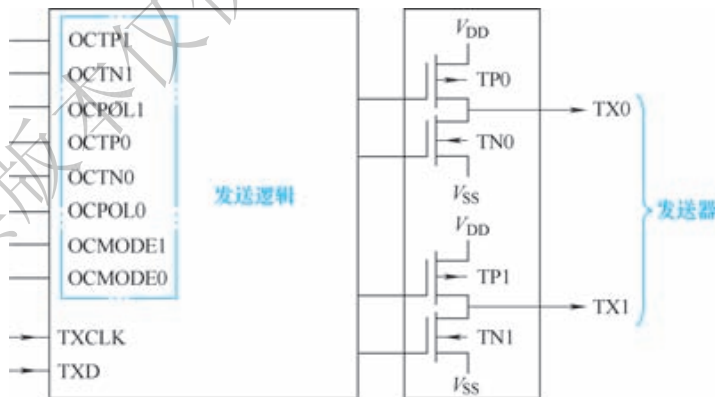


图 3-54 收发器的输入/输出控制逻辑

当 SJA1000 在休眠模式时, TX0 和 TX1 端子根据 OCR 的内容输出隐性电平。在复位状态 (复位请求 = 1) 或外部复位端子 RST 被拉低时, 输出 TX0 和 TX1 悬空。

发送的输出阶段有不同的模式, OCMODE 位的说明见表 3-61。



表 3-61 OCMODE 位的说明

OCMODE1	OCMODE0	说 明
0	0	双向输出模式
0	1	测试输出模式 ^①
1	0	正常输出模式
1	1	时钟输出模式

① 检测输出模式中，TX_n 在下一个系统时钟的上升沿反映在 RX 各端子检测到的位。TN1、TN0、TP1 和 TP0 配置与 OCR 相对应。

a. 正常输出模式。位序列 (TXD) 通过端子 TX0 和 TX1 输出，端子 TX0 和 TX1 的电平取决于被 OCTP_x、OCTN_x (悬空、上拉、下拉、推挽) 编程的发送器的特性和被 OCPOL_x 编程的输出端极性。

b. 时钟输出模式。端子 TX0 在该模式中和正常模式中相同，但 TX1 上的数据流被发送时钟 (TXCLK) 代替，如图 3-55 所示。发送时钟 (不翻转) 的上升沿标志着一位的开始，时钟脉冲宽度等于 t_{SCL} 。

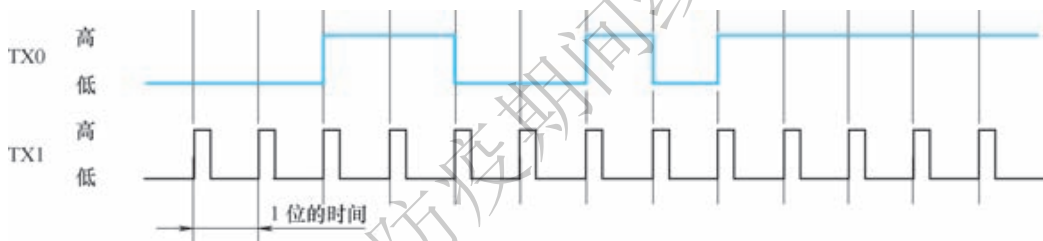


图 3-55 时钟输出模式

c. 双相输出模式。相对于正常输出模式，此位代表时间的变化与触发。若总线控制器被发送器从总线上电流退耦，则位流不允许含有直流成分。在隐性位期间，所有输出呈现“无效” (悬空)，而显性位交替在 TX0 和 TX1 上发送，即第一位在 TX0 上发送，第二位在 TX1 上发送，第三位在 TX0 上发送等，以此类推。双相输出时序配置如图 3-56 所示。

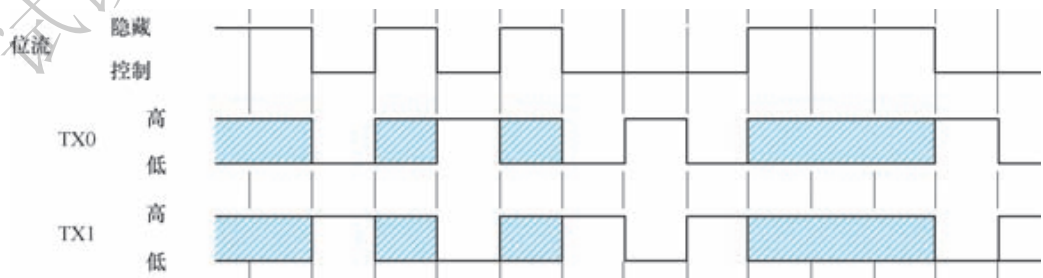


图 3-56 双相输出时序配置 (输出控制寄存器为 F8H)

d. 测试输出模式。RX 的电平在下一个系统时钟的上升沿映射到 TX_n，系统时钟 ($f_{osc/2}$) 与 OCR 中定义的极性相同。OCR 的位和输出端子 TX0 和 TX1 的关系见表 3-62。

表 3-62 OCR 的位和输出端子 TX0 和 TX1 的关系

驱动	TXD	OCTPX	OCTNX	OCPOLK	TPX ^②	TNX ^③	TXX ^④
悬空	x ^①	0	0	x ^①	关	关	悬空
上拉	0	0	1	0	关	开	低
	1	0	1	0	关	关	悬空
	0	0	1	1	关	关	悬空
	1	0	1	1	关	开	低
下拉	0	1	0	0	关	关	悬空
	1	1	0	0	开	关	高
	0	1	0	1	开	关	高
	1	1	0	1	关	关	悬空
上拉	0	1	1	0	关	开	低
	1	1	1	0	开	关	高
	0	1	1	1	开	关	高
	1	1	1	1	关	开	低

① x = 不影响。

② TPX 是片内输出发送器 X，连接 V_{DD}。

③ TNX 是片内输出发送器 X，连接 V_{SS}。

④ TXX 是在端子 TX0 或 TX1 上的串行输出电平。要求当 TXD=0 时，CAN 总线上的输出电平必须是显性；而当 TXD=1 时，这个输出电平是隐性。

⑤ 时钟分频寄存器 (CDR)。CDR 用于控制输出给单片机的 CLKOUT 频率，可使 CLKOUT 端子失效，还用于控制 TX1 上的专用接收中断脉冲、接收比较器旁路和 BasicCAN 模式与 PeliCAN 模式的选择。硬件复位后，CDR 的默认状态为 Motorola 模式 (0000 0101, 12 分频) 和 Intel 模式 (0000 0000, 2 分频)。软件复位 (复位请求/复位模式) 时，CDR 不受影响。保留位 (CDR.4) 总是 0，应用软件向此位写 0 以与将来可能使用此位的特性兼容。CDR 各位的功能说明见表 3-63。

表 3-63 CDR 各位的功能说明 (CAN 地址 31)

BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
CAN 模式	CBP	RXINTEN	0 ^①	关闭时钟	CD. 2	CD. 1	CD. 0

① 此位不能被写，读值总为 0。

位域 CD.0~CD.2 的定义：复位模式和工作模式相同，CD.0~CD.2 可随时访问。这些位用来定义外部 CLKOUT 端子上的频率，可选频率见表 3-64，其中 f_{osc} 为外部振荡器 (XTAL) 的频率。



表 3-64 频率选择

CD. 2	CD. 1	CD. 0	时钟频率
0	0	0	$f_{osc}/2$
0	0	1	$f_{osc}/4$
0	1	0	$f_{osc}/6$
0	1	1	$f_{osc}/8$
1	0	0	$f_{osc}/10$
1	0	1	$f_{osc}/12$
1	1	0	$f_{osc}/14$
1	1	1	f_{osc}

关闭时钟：此位用于禁能 SJA1000 的外部 CLKOUT 端子，只有在复位模式中才可以写访问。如果置位此位，CLKOUT 端子在休眠模式中为低，而其他情况为高。

RXINTEN：此位允许 TX1 输出专用于接收中断输出。当一条已接收的信息成功地通过验收滤波器，一位时间长度的接收中断脉冲会在 TX1 端子输出（在帧的最后一位期间）。极性和输出驱动可通过输出控制寄存器编程。复位模式中只能写访问，在 BasicCAN 模式中复位请求位设置为 1。

置位 CBP：置位 CDR. 6 可旁路 CAN 输入比较器，但只能在复位模式中设置，主要用于 SJA1000 外接发送接收电路。此时内部延时减少，将使总线长度增加。如果 CBP 被置位，只有 RX0 被激活。没有被使用的 RX1 输入应被连接到一个确定的电平（如 V_{SS} ）。

CAN 工作模式：CDR. 7 定义了 CAN 工作模式。如果 CDR. 7=0，CAN 控制器工作于 BasicCAN 模式；否则，CAN 控制器工作于 PeLiCAN 模式。只有在复位模式中可以写。

4) 主要电气参数。SJA1000 的主要电气参数见表 3-65。

表 3-65 SJA1000 的主要电气参数

参 数	条件	最小值	最大值
电源电压 V_{DD}/V		4.5	5.5
除 TX0 和 TX1 之外所有端子的输入/输出电流 (I_I/I_O)/mA		—	±4
TX0 和 TX1 共消耗电流 I_{OT} (Sink)/mA	①	—	30
TX0 和 TX1 源电流之和 I_{OT} (Source)/mA	①	—	-20
操作环境温度 $T_{amb}/^{\circ}C$		-40	125
存储温度 $T_{alg}/^{\circ}C$		-65	150
总功耗 P_{tot}/W	②	—	1.0
各端子电压 V_{esd}/V	②	-1500	1500
	②	-200	200

① I_{OT} 在总线失败情况下也存在，因为此时 TX 输出在很短时间后（总线关闭状态）被自动关闭。正常操作时 I_{OT} 是一峰值电流，时间 $t < 100ms$ 。每个 TX 平均输出电流不超过 10mA。

② 该值基于可允许的最大温度和封装热阻，而不是设备功耗。

2. CAN 集成电控单元 P8xC591

P8xC591 是一个典型的高性能集成电控单元，它从 80C51 电控单元派生而来，采用强大的 80C51 指令集，并包括 SJA1000 CAN 控制器的 PeliCAN 功能。全静态内核提供了扩展的节电方式，振荡器可停止和恢复而不丢失数据。P8xC591 组合了 P87C554 和 SJA1000 的功能，并具有增强功能，主要表现为增强的 CAN 接收中断、扩展的验收滤波器，验收滤波器可在运行中改变。

(1) 硬件构成及其功能 P8xC591 的硬件构成及其功能框图如图 3-57 所示。

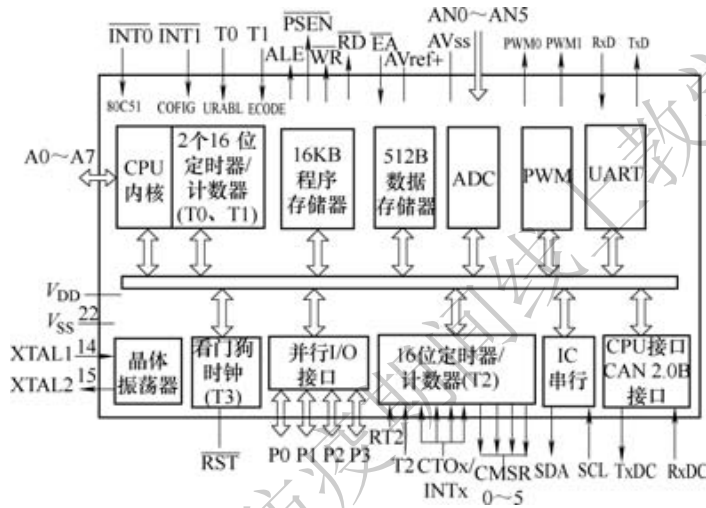


图 3-57 P8xC591 的硬件构成及其功能框图

(2) 存储系统 P8xC591 有 3 个存储空间，即 16KB 内部程序存储器，可外部扩展到 64KB；512B 内部数据存储器，主、辅 RAM；最大 64KB 外部数据存储器（256B 位于内部辅助 RAM）。

1) 程序存储器。P8xC591 包含 16KB 内部程序存储器，可使用外部存储器扩展到 64KB。当 EA 为高电平时，P8xC591 从内部 ROM 读取地址，除非地址超过 3FFFH。地址 4000H~FFFFH 取自外部程序存储器。EA 在复位时锁存，复位之后不用考虑。对于 ROM 和 EPROM 的 P8xC591，器件执行防范措施，以确保不会被非法的程序存储器读取。

2) 数据存储器。分 4 个独立部分，即低 128B RAM（地址 00H~7FH，可直接和间接寻址）、高 128B RAM（地址 80H~FFH，为间接寻址）、128B 特殊功能寄存器（SFR，地址 80H~FFH，只能直接寻址）和 256B 辅助 AUX-RAM（地址 00H~FFH），通过 MOVX 间接寻址且 EXTRAM 位清零。

3) I/O 结构。P8xC591 包含 32 条 I/O 接口线，部分具有复用功能。I/O 在复位时保持高电平（异步，在振荡器运行之前）。P0~P3 具有下列可选功能：

① P0 与 80C51 电控单元功能相同。复位后，P0 口特殊功能寄存器为 FFH。P0 还提



供复用的低位地址和数据总线，用于扩展 P8xC591 的标准存储器和外围设备。

② P1 支持几种可选功能，具有不同的 I/O 状态。在复位后，P1.0 和 P1.1 为高电平，而 P1.2~P1.7 为高阻态（三态）。

③ P2 与 80C51 电控单元功能相同。复位后，P1 口特殊功能寄存器为 FFH；P2 还提供复用的高位地址和数据总线，用于扩展 P8xC591 电控单元功能的外部存储器和域外部数据存储器。

④ P3 与 80C51 电控单元功能相同。复位后，P3 口特殊功能寄存器为 FFH。

二、CAN 收发器

1. CAN 收发器 PCA82C250

PCA82C250 是 CAN 控制器与物理总线之间的接口，为汽车中的高速应用而设计。器件可提供对总线的差动发送和接收功能。

(1) PCA82C250 的主要特点

- 1) 与 ISO 11898 标准完全兼容。
- 2) 高速率（1Mbit/s）。
- 3) 采用斜率控制，降低射频干扰（RFI）。
- 4) 具有抗汽车环境下的瞬间干扰和保护总线的能力。
- 5) 低电流待机模式。
- 6) 在 24V 系统中防止电池对搭铁短路。
- 7) 过热保护。
- 8) 未上电时，节点不会干扰总线。
- 9) 总线至少可连接 110 个节点。

(2) PCA82C250 的结构

PCA82C250 的结构如图 3-58 所示，其基本性能参数和端子功能见表 3-66 和表 3-67。

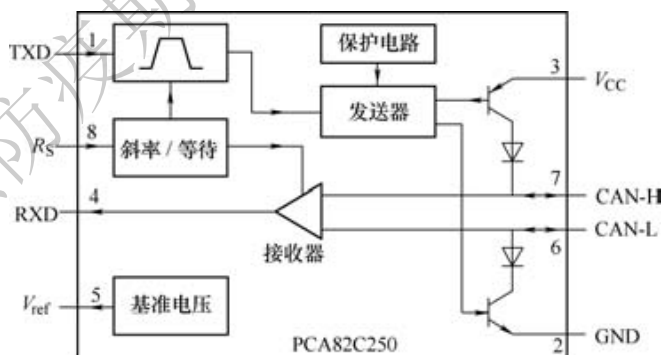


图 3-58 PCA82C250 的结构

表 3-66 PCA82C250 基本性能参数

参 数	条 件	最小值	典型值	最大值
电源电压 V_{CC}/V		4.5	—	5.5
电源电流 I_{CC}/mA	显性位, $V_1 = 1V$	—	—	70
	隐性位, $V_1 = 4V$	—	—	14
	待机模式	—	0.1	0.17

(续)

参 数	条 件	最小值	典型值	最大值
CAN-H、CAN-L 端子直流电压 V_{CAN}/V	$0 < V_{CC} < 5.5V$	-8	—	18
差动总线电压 $\Delta V/V$	$V_1 = 1V$	1.5	—	3.0
差动输入电压 (隐性值) $V_{diff(r)}/V$	非待机模式	-1.0	—	0.4
差动输入电压 (显性值) $V_{diff(d)}/V$	非待机模式	1.0	—	5.0
传播延迟 T_d/ns	高速模式	—	—	50
工作环境温度 $T_{amb}/^{\circ}C$		-40	—	120

表 3-67 PCA82C250 端子功能

符 号	端 子	功 能
TXD	1	发送数据输入
GND	2	搭铁
V_{CC}	3	电源电压
RXD	4	接收数据输入
V_{ref}	5	参考电压输出
CAN-L	6	低电平 CAN 电压输入/输出
CAN-H	7	高电平 CAN 电压输入/输出
R_S	8	斜率电阻输入

(3) PCA82C250 的工作原理 PCA82C250 驱动电路内部具有限流电路，可防止发送输出级对电源、搭铁或负载短路。当短路出现时功耗增加，可避免损坏输出级。若结温超过 $160^{\circ}C$ ，则两个发送器输出端极限电流将减小。由于发送器是功耗的主要部分，因而限制了芯片的温升，器件的其他部分将继续工作。PCA82C250 采用双线差分驱动，有助于抑制汽车在恶劣电气环境下受到的瞬变干扰。

端子 R_S 用于选定 PCA82C250 的工作模式。有三种不同的工作模式可供选择，即高速、斜率控制和待机，具体内容见表 3-68。

表 3-68 端子 R_S 的用法

R_S 端子强制条件	模式	R_S 端子电压或电流
$V_{RS} > -0.75V_{CC}$	待机	$-I_{RS} < 10\mu A$
$10\mu A < -I_{RS} < 200\mu A$	斜率控制	$0.4V_{CC} < V_{RS} < 0.6V_{CC}$
$V_{RS} < 0.3V_{CC}$	高速	$-I_{RS} < 500\mu A$

将端子 R_S 搭铁，可选择高速模式。该模式下，发送器输出级晶体管以最快的速度开、闭，不采取任何措施限制上升和下降的斜率。使用屏蔽电缆，可避免射频干扰。

斜率控制模式允许使用非屏蔽双绞线或平行线作为总线。为降低射频干扰，应限制上升和下降的斜率。上升和下降的斜率可通过由端子 R_S 接至搭铁的连接电阻进行控制，斜率正比于端子 R_S 的电流输出。



向端子 R_S 加高电平, 则电路进入低电流待机模式。此时, 发送器被关闭, 接收器转至低电流。若在总线上检测到显性位 (差动总线电压大于 $0.9V$), RXD 将变为低电平。单片机通过端子 R_S 将收发器切换至正常工作状态, 对此信号做出响应。在待机模式下接收器为慢速, 当位速率很高时, 第一个报文将丢失。PCA82C250 真值见表 3-69。利用 PCA82C250 还可以方便地在 CAN 控制器与收发器之间建立光电隔离, 以实现总线上各节点之间的电气隔离。

表 3-69 CAN 收发器 PCA82C250 真值

V_{CC}/V	TXD	CAN-H	CAN-L	总线状态	RXD
4.5~5.5	0	高	低	显性	0
4.5~5.5	1 (或悬空)	悬空	悬空	隐性	1 ^②
4.5~5.5	X ^①	若 $V_{RS}>0.75$, V_{CC} 则悬空	若 $V_{RS}>0.75$, V_{CC} 则悬空	悬空	1 ^②
0~4.5	悬空	悬空	悬空	悬空	X ^①

① X 为任意值。

② 若其他总线节点正在发送一个显性位, 则 RXD 为逻辑 0。

2. CAN 收发器 TJA1040

TJA1040 收发器提供了 CAN 协议控制器和物理总线之间的接口, 实现发送和接收功能; 还提供低功耗管理, 支持远程唤醒。TJA1040 的功能框图如图 3-59 所示, 其端子功能见表 3-70。

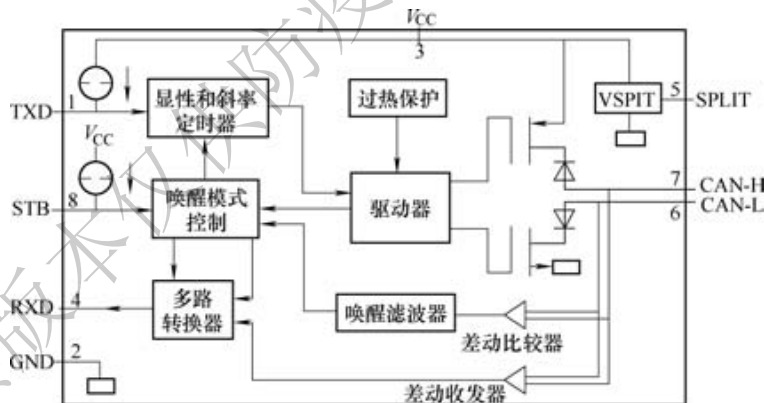


图 3-59 TJA1040 的功能框图

表 3-70 TJA1040 端子功能

符号	端子	功 能	符号	端子	功 能
TXD	1	发送数据输入	SPLIT	5	共模稳压输出
GND	2	搭铁	CAN-L	6	低电平 CAN 电压输入/输出
V_{CC}	3	电源电压	CAN-H	7	高电平 CAN 电压输入/输出
RXD	4	接收数据输出	STB	8	待机模式控制输入



(1) 正常模式 收发器通过总线 CAN-H 和 CAN-L 发送和接收数据。差动收发器将总线上的模拟数据转换成数字数据，通过多路转换器（MUX）输出到 RXD。总线线路上输出信号的斜率固定，并进行优化，保证有很低的电磁辐射（EME）。

(2) 待机模式 发送器和接收器都关闭，只用低功耗的差动收发器监控总线。 V_{CC} 上的电流降到最低，但仍确保抗电磁干扰，并能识别出总线上的唤醒事件。在该模式中，总线搭铁，将电源电流 I_{CC} 降到最低。在 RXD 的高端驱动器上串联一个二极管，防止无电压时有反向电流从 RXD 流向 V_{CC} 。在正常模式中，该二极管被旁路，但在待机模式中可减少电流消耗而不被旁路。

(3) 分解网络 分解网络为 $0.5V_{CC}$ 的直流稳压源，只在正常模式中接通。待机模式时，端子 SPLIT 空，分解网络通过将端子 SPLIT 连接到分解终端的中心插头来稳定隐性共模电压（见图 3-59），若网络中存在不上电的收发器，则会在总线和搭铁之间漏电，使隐性总线电压小于 $0.5V_{CC}$ ，分解网络将该隐性电压稳定为 $0.5V_{CC}$ 。因此启动发送时，不会在共模信号上产生阶跃，从而保证电磁辐射性能。

(4) 唤醒 在待机模式中，总线由低功耗的差动比较器监控。一旦低功耗的差动比较器检测到一个持续时间大于总线时间 t_{BUS} 的显性总线电平，端子 RXD 变为低电平。

(5) 过热检测 收发器在过热时会受到保护。若实际连接点温度超过了 165°C ，收发器会被禁止，直到实际连接点温度低于 165°C 后，TXD 才会再一次变成隐性。因此，收发器的振幅不会受到温度漂移的影响。

(6) TXD 显性超时功能 当端子 TXD 由于硬件和/或软件程序的错误而被持续地置为低电平时，TXD 显性和斜率定时器电路可防止总线进入持续的显性状态（阻塞所有网络通信）。该定时器由端子 TXD 的负跳沿触发。若端子 TXD 的低电平持续时间超过内部定时器的值（ J_{dom} ），收发器被禁止，强制使总线进入隐性状态。

(7) 自动防故障功能 端子 TXD 提供了一个向 V_{CC} 的上拉，当不使用端子 TXD 时，保持隐性电平。端子 STB 提供了一个向 V_{CC} 的上拉，当不使用端子 STB 时，使收发器进入待机模式。若 V_{CC} 断电，端子 TXD、STB 和 RXD 会变成悬空状态，以防止通过这些端子产生反向电流。

3. PCA82C250/251 与 TJA1040、TJA1050 的比较和升级

(1) PCA82C250/251 与 TJA1040、TJA1050 的比较 TJA1040、TJA1050 和 PCA82C250/251 一样，都是遵从 ISO 11898 的高速 CAN 收发器。TJA1050 采用了先进的绝缘硅（SOI）技术进行处理，比 PCA82C250/251（使用分离终端）的抗电磁干扰性能提高了 20dB。TJA1050 不提供待机模式。TJA1040 以 TJA1050 的设计为基础。由于使用了相同的 SOI 技术，TJA1040 和 TJA1050 的 EMC 特性相同。TJA1040 与 PCA82C250/251 都有待机模式，可通过总线远程唤醒，TJA1040 可认为是 PCA82C250/251 的功能后继者。TJA1040 还具有与 PCA82C250/251 相同的收发器端子和功能，所以 TJA1040 可以与 PCA82C250/251 兼容，并简单地替代后者。TJA1040 首次提供在不上电环境下具有理想的无源特性。

TJA1040 比 PCA82C250/251 有以下改进：

1) 若不上电，则总线上完全无源。



- 2) 改良的抗电磁干扰 (EMI) 性能。
- 3) 改良的防电磁辐射性能。
- 4) 待机模式时, 电流消耗非常低 (最大 $15\mu\text{A}$)。
- 5) SPLIT 端子代替 V_{ref} 端子, 有利于对总线的直流稳压。

TJA1040 可以向下兼容 PCA82C250/251, 并在已有的 PCA82C250/251 中使用, 而硬件和软件不需要进行任何修改。

PCA82C250/251、TJA1050 和 TJA1040 之间的主要区别见表 3-71。

表 3-71 PCA82C250/251、TJA1050 和 TJA1040 之间的主要区别

特 征	PCA82C250	PCA82C251	TJA1050	TJA1040
电压范围/V	4.5~5.5	4.5~5.5	4.75~5.25	4.75~5.25
总线端子 (6、7) 的最大直流电压/V	-8~18	-36~36	-27~40	-27~40
循环延迟 (TXD→RXD) /ns	($R_s=0$) 190 ($R_s=24\text{k}\Omega$) 320	($R_s=0$) 190	250	255
有远程唤醒的待机模式/ μA	小于 170	小于 275	不支持	小于 15
斜率控制	可变	可变	EMC 优化	EMC 优化
没上电的无源特征 ($V_{\text{CC}}=0$ 时的总线) / μA	小于 1000 ($V_{\text{CANH-L}}=7\text{V}$)	小于 2000 ($V_{\text{CANH-L}}=7\text{V}$)	小于 0 ($V_{\text{CANH-L}}=5\text{V}$)	小于 0 ($V_{\text{CANH-L}}=7\text{V}$)
共模电压的直流稳压性	无	无	无	有

(2) PCA82C250/251、TJA1050 和 TJA1040 插接器的端子布置 PCA82C250/251、TJA1050 和 TJA1040 插接器的端子布置如图 3-60 所示。除了两个重新命名的端子外, 这三个总线触发器相同。

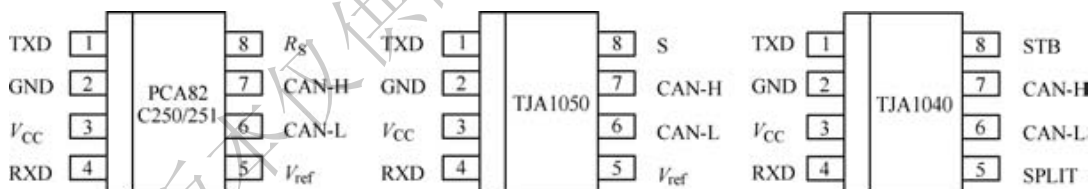


图 3-60 PCA82C250/251、TJA1050 和 TJA1040 插接器的端子布置

1) 模式控制端子 (端子 8)。模式控制端子用于控制收发器的工作模式, 该端子在 TJA1040 上的符号是 STB, 指待机模式; 在 PCA82C250/251 上的符号是 R_s , 指斜率控制电阻; 在 TJA1050 上的符号是 S, 指静音模式。虽然表示的符号不同, 但模式控制相同, 即普通模式或高速模式都是通过端子 8 置低电平进入。若将该端子置高电平, 收发器进入待机 (PCA82C250/251、TJA1040) 或静音模式 (TJA1050)。

2) 参考电压端子 (端子 5)。该端子为 CAN 控制器的模拟比较器提供一个参考电压 ($V_{\text{CC}}/2$), 使比较器能准确地读出总线上的位流信号。PCA82C250/251 和 TJA1050 端子 5 的符号都是 V_{ref} 。目前 CAN 控制器通常有一个 RXD 信号的数字式输入, 因此端子 V_{ref} 使用得越来越少。

TJA1040 端子 5 的符号是 SPLIT, 该端子提供了 $V_{\text{CC}}/2$ 的电压, 与其相关的低阻抗

(典型值为 600Ω) 可将共模电压稳定到额定的 $V_{CC}/2$ 。端子 SPLIT 被连接到分离终端的中间分插头, 即使由于未上电节点造成从总线到 GND 有很大的漏电电流, 共模电压仍能够维持在接近额定值的 $V_{CC}/2$ 。

4. 工作模式

收发器的工作模式由端子 8 控制。相关的工作模式及端子 8 相应的设置见表 3-72。

表 3-72 工作模式及端子 8 相应的设置

工作模式	特 征	端子 8 的信号电平		
		TJA1040	PCA82C250/251	TJA1050
正常 (高速)	发送功能 接收功能	低	低或悬空	低或悬空
待机	减小电流 远程唤醒 混串音保护	高或悬空	高	—
斜率控制	可变斜率	—	通过 $10k\Omega < R_s < 180k\Omega$ 连接 GND	—
静音	混串音保护 “只听”功能	—	—	高

TJA1040 提供了与 PCA82C250/251 相同的功能。由于 TJA1050 和 TJA1040 的 CAN 信号都有良好的对称性, 所以不需要一个专门的斜率控制模式。

(1) 正常 (高速) 模式 对于总线收发器, 正常 (高速) 模式都相同。从 TXD 输入的数字位流被转换成相应的模拟总线信号, 同时总线收发器监控总线, 将模拟总线信号转换成相应的数字位流从 RXD 输出。

(2) 待机模式 PCA82C250/251 和 TJA1040 提供了一个专用的待机模式, 电流消耗减到最低 (如 TJA1040 最大为 $15\mu A$, PCA82C250 最大为 $170\mu A$)。在待机模式中, TJA1040 和 PCA82C250/251 发送器完全禁能, TJA1040 和 PCA82C250/251 提供了与 Babbling Idiot 节点一致的静音功能。TJA1040 和 PCA82C250/251 在该模式下最大的区别是总线的偏压。PCA82C250/251 将总线偏压维持在 $V_{CC}/2$ 以上, 而 TJA1040 将总线拉到 GND。因此, TJA1040 在低功耗工作环境下的电流消耗非常低。

(3) 斜率控制模式 只有 PCA82C250/251 提供斜率控制模式。通过 R_s 端子和 GND 之间的电平连接电阻调整斜率。TJA1050 和 TJA1040 的抗电磁干扰性比 PCA82C250/251 提高了 20dB, 可摆脱共模扼流圈。

(4) 静音模式 TJA1050 提供一个专用的静音模式, 发送器完全禁能, 以确保没有信号能从 TXD 发送至总线。如同 TJA1040 待机模式, 该静音模式可建立一个 Babbling Idiot 保护。静音模式中, 接收器保持激活状态, 可执行“只听”功能。

5. 互操作性

由于 PCA82C250/251、TJA1050、TJA1040 和 TJA1041 都符合 ISO 11898 标准, 因此, 在正常模式下具有互操作性。但在低功耗模式工作时有不同的总线偏压, 不同工作模式



和不上电情况下的总线偏压见表 3-73。当有不同的总线偏压时，系统会得到一个稳定的偏压补偿电流。补偿电流的大小由共模输入阻抗决定。TJA1040 和 PCA82C250 节点总线处于隐性状态的补偿电路如图 3-61 所示。由于共模输入阻抗很大，当一部分网络工作在低功耗模式而其他节点已经开始通信时，CAN 通信不受影响，并且能大大降低辐射。

表 3-73 不同工作模式和不上电情况下的总线偏压

条件 \ 收发器	PCA82C250/251		TJA1050		TJA1040	
	模式	总线偏压	模式	总线偏压	模式	总线偏压
低（端子 8）	正常	$V_{CC}/2$	正常	$V_{CC}/2$	正常	$V_{CC}/2$
高（端子 8）	待机	$V_{CC}/2$	静音	$V_{CC}/2$	待机	GND
悬空（端子 8）	正常	$V_{CC}/2$	正常	$V_{CC}/2$	待机	GND
不上电	—	GND	—	GND	—	悬空

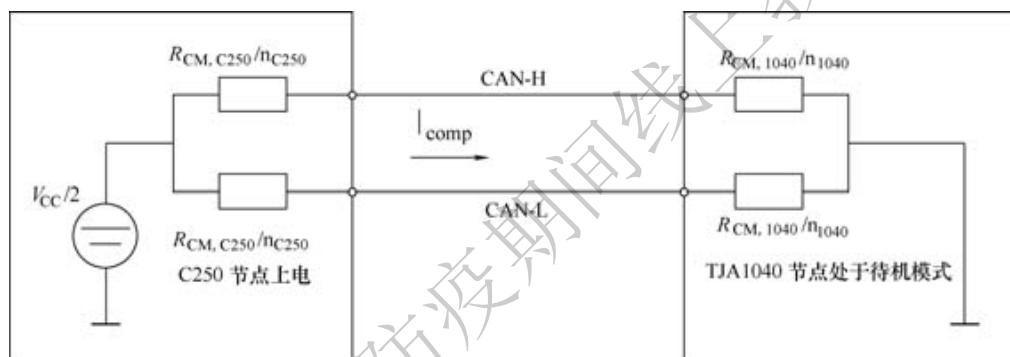


图 3-61 TJA1040 和 PCA82C250 节点总线处于隐性状态的补偿电路

(1) TJA1040 和 PCA82C250/C251、TJA1050 混合使用 不同的总线偏压和补偿电流见表 3-74。当 TJA1040 节点处于正常（高速）模式，而其他 PCA82C250/251 和 TJA1050 节点没有上电时，会产生补偿电流。当 TJA1040 处于待机模式，而其他 PCA82C250/251 和 TJA1050 节点处于任何保持上电状态的工作模式时，也会产生补偿电流。尽管有补偿电流，处于待机模式的 TJA1040 比处于待机模式的 PCA82C250/251 节电。当 PCA82C250/251 和 TJA1050 节点处于不上电状态，而 TJA1040 节点处于待机模式时，则使用该最低电流消耗。

表 3-74 不同的总线偏压和补偿电流

PCA82C250/251 和 TJA1050 \ TJA1040	所有模式	不上电
普通/高速	—	×
待机	×	—
不上电	—	—

注：1. “×”表示偏压补偿电流。

2. “—”表示没有偏压补偿电流。

(2) **TJA1040 和 TJA1041 节点混合使用** TJA1040 和 TJA1041 节点的混合模式见表 3-75，在低功耗模式中，TJA1040 和 TJA1041 对 GND 都显示“弱”终端，当所有节点都处于待机或休眠模式时，总线掉电，不会出现偏压补偿电流。当所有节点都处于正常（高速）或有诊断功能的 Pwon “只听”模式时，总线偏压到 $V_{CC}/2$ ，不出现偏压补偿电流。

表 3-75 TJA1040 和 TJA1041 节点的混合模式

TJA1040 \ TJA1041	普通/高速	Pwon	待机	休眠	不上电
普通/高速	—	—	×	×	×
待机	×	×	—	—	—
不上电	—	—	—	—	—

注：1. “×”表示偏压补偿电流。
2. “—”表示没有偏压补偿电流。

6. 硬件问题

PCA82C250/251 的典型应用电路如图 3-62 所示，等价电路如图 3-63 和图 3-64 所示。

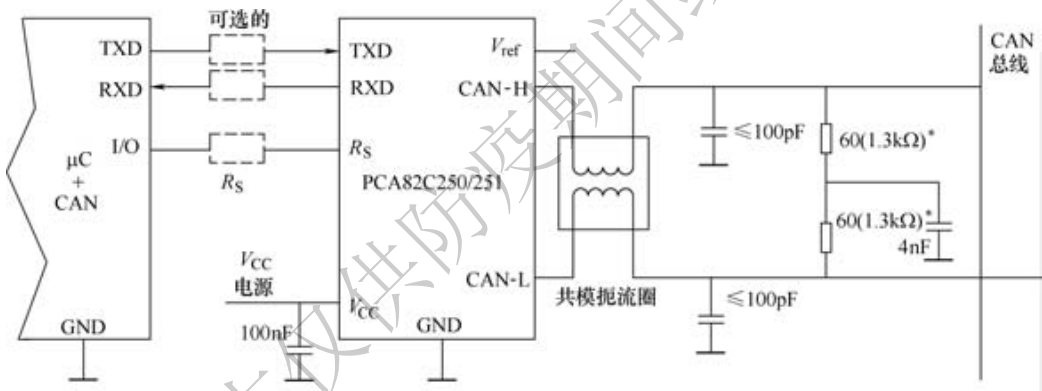


图 3-62 PCA82C250/251 的典型应用电路

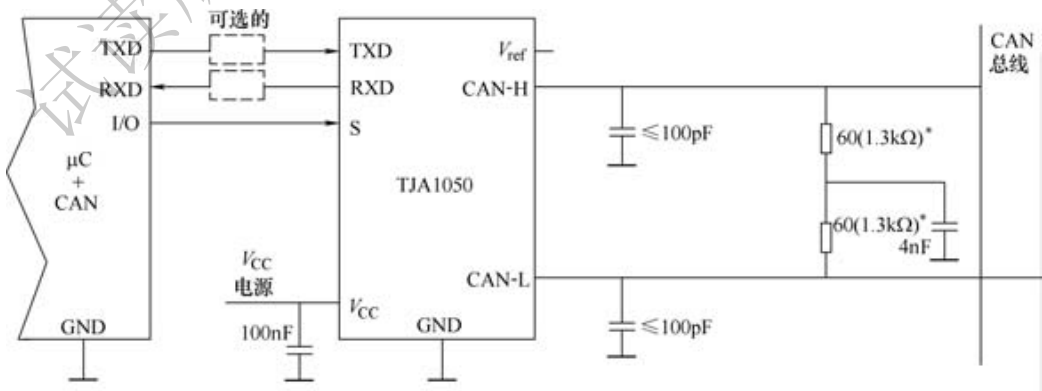


图 3-63 TJA1050 的典型应用电路

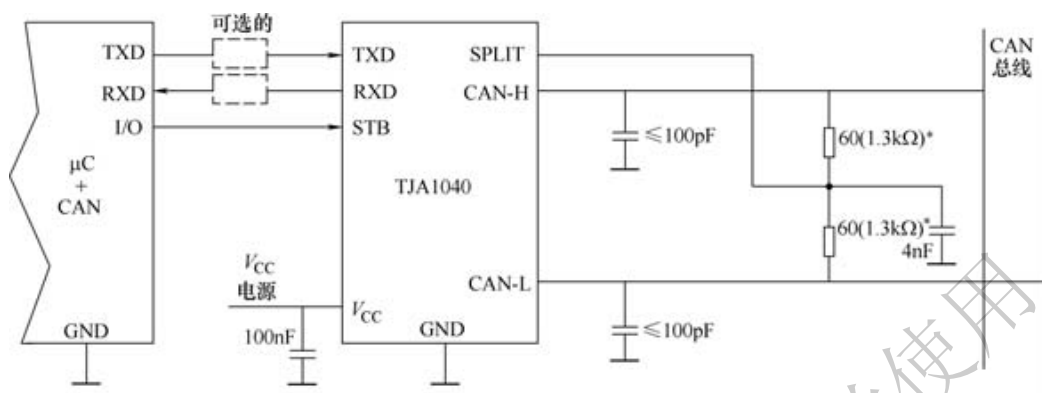


图 3-64 TJA1040 的典型应用电路

1) 用 TJA1050 代替 PCA82C250/251 (见图 3-62 和图 3-63) 时, 注意以下事项:

① 若 PCA82C250 的模式控制端子 8 接有一个斜率控制电阻 R_s 控制斜率, 要将该电阻去掉。TJA1050 端子 S 被直接连接到单片机的输出端。

② TJA1050 的对称性能非常好, 不需要共模扼流圈。为了确保电磁辐射最低, 应使用分离终端, 尤其是在 AM 波段。

2) 用 TJA1040 代替 PCA82C250/251 (见图 3-62 和图 3-64) 时, 注意以下事项:

① 若端子 SPLIT 用于共模电压的直流稳压, 则端子 SPLIT (对应于 PCA82C250/251 的 V_{ref} 端子) 要连接到分离终端的中间分插头。若 SPLIT 不使用, 只要保持断路即可。

② 若 PCA82C250 的模式控制端子 8 接有一个斜率控制电阻 R_s 控制斜率, 则将该电阻去掉。TJA1040 端子 STB 被直接连接到单片机的输出端。

③ TJA1040 不需要共模扼流圈。为了确保电磁辐射最低, 应使用分离终端, 尤其是在 AM 波段。

延伸阅读

典型车型 CAN 总线类型:

目前 CAN 总线中的信号是以数码方式由铜导线传送的, 安全传送速率可高达 1000kbit/s。大众汽车 CAN 的最高传送速率为 500kbit/s, 大众汽车 CAN 总线为 3 个专用系统, 即几乎满足实时要求的速率为 500kbit/s 的驱动 CAN 总线 (高速); 时间要求较低的速率为 100kbit/s 的舒适 CAN 总线 (低速); 时间要求较低的速率为 100kbit/s 的信息娱乐 CAN 总线 (低速), 如电话、收音机和导航系统的网络。CAN 总线导线颜色见表 3-76。

表 3-76 CAN 总线导线颜色

CAN 总线类型	CAN 总线导线类别	导线颜色
驱动 CAN	高线	橘黄色/黑色
	低线	橘黄色/棕色



操作。SJA1000 的 $\overline{\text{RD}}$ 、 $\overline{\text{WR}}$ 、ALE 分别与 P89C51 的对应端子相连， $\overline{\text{INT}}$ 接 P89C51 的 $\overline{\text{INT0}}$ ，使 P89C51 可通过中断方式访问 SJA1000。SJA1000 的复位信号 $\overline{\text{RST}}$ 为低电平有效。

为了增强 CAN 总线节点的抗干扰能力，SJA1000 的 TX0 和 RX0 不直接与 TJA1050 的 TXD 和 RXD 相连，而是通过高速光耦 6N137 后与 TJA1050 相连，实现了总线上各 CAN 节点间的电气隔离。电源的完全隔离可采用小功率电源隔离模块，或通过带有 5V 隔离输出的开关电源实现。这些部分虽然增加了节点电路的复杂性，但提高了节点的稳定性和安全性。

TJA1050 与 CAN 总线接口部分也采用了一定的安全和抗干扰措施。TJA1050 的端子 CAN-H 和 CAN-L 各自通过一个 5Ω 的电阻与 CAN 总线相连，电阻可起到一定的限流作用，保护 TJA1050 免受过电流的冲击。CAN-H 和 CAN-L 与搭铁之间并联了两个 30pF 的小电容，可滤除总线上的高频干扰，防电磁辐射。另外，在两根 CAN 总线输入端与搭铁之间分别接了一个防雷击管，两输入端之间也分别接了一个防雷击管，当两输入端与搭铁之间出现瞬变干扰时，通过防雷击管的放电可起到一定的保护作用。

2. CAN 智能节点软件设计

CAN 总线智能节点的软件设计主要包括 CAN 节点初始化、报文发送和报文接收。熟悉这三部分程序的设计，就能编写出利用 CAN 总线进行通信的一般应用程序。若要将 CAN 总线应用于通信任务比较复杂的系统中，还需详细了解有关 CAN 总线错误处理、总线关闭处理、接收滤波处理、波特率参数设置、自动检测以及 CAN 总线通信距离和节点数的计算等内容。

(1) 初始化过程 SJA1000 的初始化只能在复位模式下进行，主要包括工作方式、接收滤波方式、接收屏蔽寄存器 (AMR) 和接收代码寄存器 (ACR)、波特率参数和中断允许寄存器 (IER) 的设置等。完成 SJA1000 的初始化设置后，SJA1000 回到工作状态，进行正常通信。SJA1000 初始化的 P89C51 汇编源程序如下：

```

CANINI:  MOV    DPTR, #MODE    ; 方式寄存器
         MOV    A, #09H      ; 进入复位模式，对 SJA1000 进行初始化
         MOVX   @DPTR, A
         MOV    DPTR, #CDR    ; 时钟分频寄存器
         MOV    A, #88H      ; 选择 PeliCAN 模式，关闭时钟输出 (CLKOUT)
         MOVX   @DPTR, A
         MOV    DPTR, #IER    ; 中断允许寄存器

AMRINI:  MOV    A, #0DH      ; 开放发送中断、溢出中断和错误警告中断
         MOVX   @DPTR, A
         MOV    DPTR, #AMR    ; 接收屏蔽寄存器
         MOV    R6, #4
         MOV    R0, #DAMR     ; 接收屏蔽寄存器内容在单片机片内 RAM 中的首址

ACRINI:

```



```
MOV      A, @R0
MOVX    @DPTR, A      ; 接收屏蔽寄存器赋初值
INC     DPTR
DJNZ    R6, AMRINI
MOV     DPTR, #ACR    ; 接收代码寄存器
MOV     R6, #4
MOV     R0, #DACR    ; 接收代码寄存器内容在单片机片内 RAM 中的首址
MOV     A, @R0
MOVX    @DPTR, A      ; 接收代码寄存器赋初值
INC     DPTR
DJNZ    R6, ACRINI
MOV     DPTR, #BTR0   ; 总线定时寄存器 0
MOV     A, #03H
MOVX    @DPTR, A
MOV     DPTR, #BTR1   ; 总线定时寄存器 1
MOV     A, #0FFH     ; 设置波特率
MOVX    @DPTR, A
MOV     DPTR, #OCR    ; 输出控制寄存器
MOV     A, #0AAH
MOVX    @DPTR, A
MOV     DPTR, #RBSA   ; 接收缓存器起始地址寄存器
MOV     A, #0        ; 设置接收缓存器 FIFO 起始地址为 0
MOVX    @DPTR, A
MOV     DPTR, #TXERR  ; 发送出错计数寄存器
MOV     A, #0        ; 清除发送出错计数寄存器
MOVX    @DPTR, A
MOV     DPTR, #ECC    ; 错误代码捕捉寄存器
MOVX    A, @DPTR     ; 清除错误代码捕捉寄存器
MOV     DPTR, #MODE   ; 方式寄存器
MOV     A, #08H      ; 设置单滤波接收方式, 并返回工作状态
MOVX    @DPTR, A
RET
```

(2) 发送过程 发送子程序负责节点报文的发送。发送时只需将待发送的数据按特定格式组合帧报文, 送入 SJA1000 发送缓存区中, 然后启动 SJA1000 发送即可。在向 SJA1000 发送缓存区送报文之前, 必须先进行判断。发送程序分为发送数据帧和远程帧两种, 远程帧无数据场。

1) 发送数据帧子程序。



TDATA:

MOV DPTR, #SR ; 状态寄存器
 MOVX A, @DPTR ; 从 SJA1000 读入状态寄存器值
 JB ACC. 4, TDATA ; 判断是否正在接收, 正在接收则等待

TS0:

MOVX A, @DPTR
 JNB ACC. 3, TS0 ; 判断上次发送是否完成, 未完成则等待
 发送完成

TS1:

MOVX A, @DPTR
 JNB ACC. 2, TS1 ; 判断发送缓冲区是否锁定, 锁定则等待

TS2:

MOV DPTR, #CANTXB ; SJA1000 发送缓存区首址
 MOV A, #88H ; 发送扩展帧格式数据帧, 数据场长度为 8
 个字节
 MOVX @DPTR, A
 INC DPTR
 MOV A, #ID0 ; 4 个字节标识符 (ID0~ID3, 共 29 位),
 根据实际情况赋值

MOVX @DPTR, A
 INC DPTR
 MOV A, #ID1
 MOVX @DPTR, A
 INC DPTR
 MOV A, #ID2
 MOVX @DPTR, A
 INC DPTR
 MOV A, #ID3
 MOVX @DPTR, A
 MOV R0, #TRDATA

; 单片机片内 RAM 发送数据区首址, 数据
 内容由用户定义

MTBF:

MOV A, @R0
 INC DPTR
 MOVX @DPTR, A
 INC R0
 CJNE R0, #TRDATA+8, MTBF ; 向发送缓冲区写 8 个字节
 MOV DPTR, #CMR ; 命令寄存器地址



```
MOV    A, #01H
MOVX   @ DPTR, A           ; 启动 SJA1000 发送
RET
```

2) 发送远程帧。

TRMF:

```
MOV    DPTR, #SR           ; 状态寄存器
MOVX   A, @ DPTR           ; 从 SJA1000 读入状态寄存器值
JB     ACC. 4, TDATA       ; 判断是否正在接收, 正在接收则等待
```

TR0:

```
MOVX   A, @ DPTR
JNB    ACC. 3, TR0        ; 判断上次发送是否完成, 未完成则等待
                                发送完成
```

TR1:

```
MOVX   A, @ DPTR
JNB    ACC. 2, TR1       ; 判断发送缓冲区是否锁定, 锁定则等待
```

TR2:

```
MOV    DPTR, #CANTXB       ; SJA1000 发送缓存区首址
MOV    A, #0C8H           ; 发送扩展帧格式远程帧, 请求数据长度
                                为 8 个字节, 可改变
```

```
MOVX   @ DPTR, A
INC    DPTR
MOV    A, #ID0             ; 4 个字节标识符 (ID0~ID3, 共 29 位),
                                根据实际情况赋值
```

```
MOVX   @ DPTR, A
```

```
INC    DPTR
```

```
MOV    A, #ID1
```

```
MOVX   @ DPTR, A
```

```
INC    DPTR
```

```
MOV    A, @ ID2
```

```
MOVX   @ DPTR, A
```

```
INC    DPTR
```

```
MOV    A, #ID3
```

```
MOVX   @ DPTR, A           ; 远程帧无数据场
```

```
MOV    DPTR, #CMR         ; 命令寄存器地址
```

```
MOV    A, #01H
```

```
MOVX   @ DPTR, A           ; 启动 SJA1000 发送
```

```
RET
```

(3) 接收过程 接收子程序负责节点报文的接收以及其他情况的处理, 比发送子程



序复杂，其原因是在处理接收报文的过程中，要对诸如总线关闭、错误报警和接收溢出等情况进行处理。SJA1000 报文的接收主要有中断接收方式和查询接收方式，二者编程思路基本相同。如果对通信的实时性要求不高，应采用查询接收方式。查询方式接收报文的接收子程序如下：

SEARCH:

```

MOV     DPTR, #SR           ; 状态寄存器地址
MOVX   A, @DPTR
ANL    A, #0C3H           ; 读取总线关闭、错误状态、接收溢出、有数据等位状态

JNZ    PROC
RET                                ; 无上述状态，结束

```

PROC:

```
JNB    ACC.7, PROC1
```

BUSERR:

```

MOV     DPTR, #IR           ; 中断寄存器地址，出现总线关闭
MOVX   A, @DPTR           ; 读中断寄存器，清除中断位
MOV     DPTR, #MODE        ; 方式寄存器地址
MOV     A, #08H
MOVX   @DPTR, A           ; 将方式寄存器复位请求位清 0
LCALL  ALARM              ; 调用报警子程序
RET
NOP

```

PROCI:

```

MOV     DPTR, #IR           ; 总线正常
MOVX   A, @DPTR           ; 读取中断寄存器，清除中断位
JNB    ACC.3, OTHER

```

OVER:

```

MOV     DPTR, #CMR         ; 数据溢出
MOV     A, #0CH
MOVX   @DPTR, A           ; 在命令寄存器中清除数据和释放接收缓冲区
RET
NOP

```

OTHER:

```

JB     ACC.0, RECE        ; IR.0 为 1，接收缓冲区有数据
LJMP  RECOUT             ; IR.0 为 0，接收缓冲区无数据，退出接收
NOP

```

RECE:

```
MOV     DPTR, #CANRXB      ; 接收缓冲区首地址 (16)，准备读取数据
```



MOVX	A, @ DPTR	; 读取数据帧格式字
JNB	ACC. 6, RDATA	; RTR=1 是远程请求帧, 远程帧无数据场
MOV	DPTR, #CMR	
MOV	A, #04H	; CMR. 2=1 释放接收缓冲区
MOVX	@ DPTR, A	; 只有接收了数据才能释放接收缓冲区
LCALL	TRDATA	; 发送对方请求的数据
LJMP	RECOUT	; 退出接收
NOP		
RDATA:		
MOV	DPTR, #CANRXB	; 读取并保存接收缓冲区的数据
MOV	R1, #CPURBF	; CPU 片内接收缓冲区首址
MOVX	A, @ DPTR	; 读取数据帧格式字
MOV	@ R1, A	; 保存
ANL	A, #0FH	; 截取低 4 位是数据场长度 (0~8)
ADD	A, #4	; 加 4 个字节的标识符
MOV	R6, A	
RDATA0:		
INC	DPTR	
INC	R1	
MOVX	A, @ DPTR	
MOV	@ R1, A	
DJNZ	R6, RDATA0	; 循环读取与保存
MOV	DPTR, #CMR	
MOV	A, #04H	; 释放 CAN 接收缓冲区
MOVX	@ DPTR, A	
RECOUT:		
MOV	DPTR, #ALC	; 释放仲裁丢失捕捉寄存器和错误代码捕捉寄存器
MOVX	A, @ DPTR	
MOV	DPTR, #ECC	
MOVX	A, @ DPTR	
NOT		
RET		

二、CAN 网桥设计

网桥是 CAN 网络的关键设备之一, 即不同速率的 CAN 子网之间的网关, 只要对网桥的初始化参数进行适当配置, 就能使其具有报文转发功能和报文过滤功能。使用网桥可以提高网络设计的灵活性, 极大地扩展其使用范围。



1. CAN 网桥硬件电路设计

CAN 网桥主要由 P89C52 和两路 CAN 控制器接口组成，P89C52 作为 CAN 网桥的单片机，进行网桥的监控和数据转发。两路 CAN 控制器接口电路基本相同，由 CAN 控制器 SJA1000、光电耦合电路和 CAN 总线驱动器 TJA1050 组成。两路 CAN 控制器接口的 CAN 驱动器都采用带隔离的开关电源模块单独供电，实现了两路 CAN 接口之间的电气隔离和网桥与 CAN 总线的隔离。CAN 网桥硬件结构如图 3-66 所示。

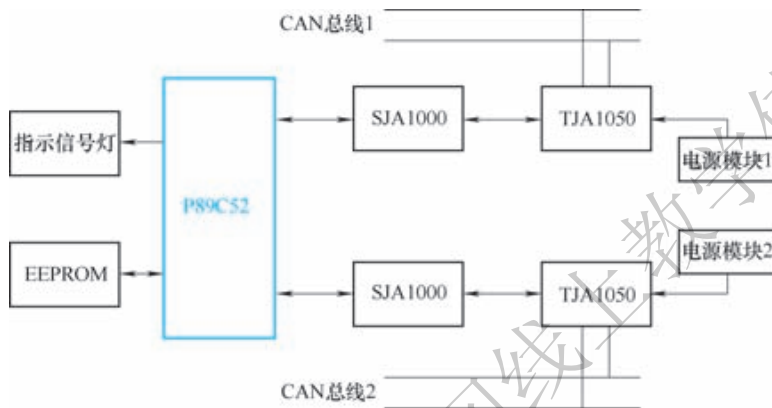


图 3-66 CAN 网桥硬件结构

2. CAN 网桥软件设计

CAN 网桥是在两个 CAN 网段之间实现数据转发，由于通信对时间的要求及 CAN 网桥 CPU 中内部 RAM 容量有限（P89C52 内部 RAM 容量为 256B），进行软件设计时要使存储转发的时间尽量短。为此，CPU 采用中断方式接收两路 CAN 控制器的数据。为了节省内存和实行有效管理，CPU 采用 FIFO 机制管理内部 RAM。

软件主要包括初始化子程序、主监控子程序、接收中断子程序和发送子程序等。初始化子程序编写方法与 SJA1000 初始化子程序基本相同，只是在对两个 CAN 控制器进行初始化时应采用不同的初始化参数。

为了说明程序，现对程序中用到的一些变量或符号定义如下：

；定义第一路 CAN 控制器 1（SJA1000）起始地址为 4000H

MODE1 EQU 4000H ; CAN 控制器 1 方式寄存器

CMR1 EQU 4001H ; CAN 控制器 1 命令寄存器

SR1 EQU 4002H ; CAN 控制器 1 状态寄存器

IR1 EQU 4003H ; CAN 控制器 1 中断寄存器

ALC1 EQU 400BH ; CAN 控制器 1 仲裁丢失捕获寄存器

ECC1 EQU 400CH ; CAN 控制器 1 错误代码捕获寄存器

TXB1 EQU 4010H ; CAN 控制器 1 发送缓冲区首址

RXB1 EQU 4010H ; CAN 控制器 1 接收缓冲区首址

；定义第二路 CAN 控制器 2（SJA1000）起始地址为 8000H

MODE2 EQU 8000H ; CAN 控制器 2 方式寄存器

CMR2	EQU	8001H	; CAN 控制器 2 命令寄存器
SR2	EQU	8002H	; CAN 控制器 2 状态寄存器
IR2	EQU	8003H	; CAN 控制器 2 中断寄存器
ALC2	EQU	800BH	; CAN 控制器 2 仲裁丢失捕获寄存器
ECC2	EQU	800CH	; CAN 控制器 2 错误代码捕获寄存器
TXB2	EQU	8010H	; CAN 控制器 2 发送缓冲区首址
RXB2	EQU	8010H	; CAN 控制器 2 接收缓冲区首址
CBF1RP	EQU	2AH	; 第一路 FIFO 接收数据指针 (从 CAN 控制器 1 接收数据)
CBF1TP	EQU	2BH	; 第一路 FIFO 发送数据指针
BF1LEN	EQU	2CH	; 第一路 FIFO 中存储数据的有效字节长度的存储单元
CBF2RP	EQU	2DH	; 第二路 FIFO 接收数据指针 (从 CAN 控制器 2 接收数据)
CBF2TP	EQU	2EH	; 第二路 FIFO 发送数据指针
BF2LEN	EQU	2FH	; 第二路 FIFO 中存储数据的有效字节长度的存储单元

(1) 主监控程序设计 主监控程序负责对两路 CAN 控制器的 FIFO 进行监视，如某一路 FIFO 非空，则向另一路转发。两路 FIFO 的容量大小不等，在下面的程序中对 CAN 控制器 1 的 FIFO 为 72 个字节单元 (30H~77H)，而对应 CAN 控制器 2 的 FIFO 为 112 个字节单元 (78H~E7H)。采用这种不对称的配置，可将容量更大的 FIFO 分配给通信任务更繁忙的一方，从而避免 FIFO 的溢出。FIFO 可接收数据指针和发送数据指针，当两指针不相等时，即说明 FIFO 中存有有效数据。FIFO 接收数据指针的调整通过接收中断子程序实现，发送数据指针的调整通过发送子程序实现。主监控程序流程如图 3-67 所示。具体程序如下：

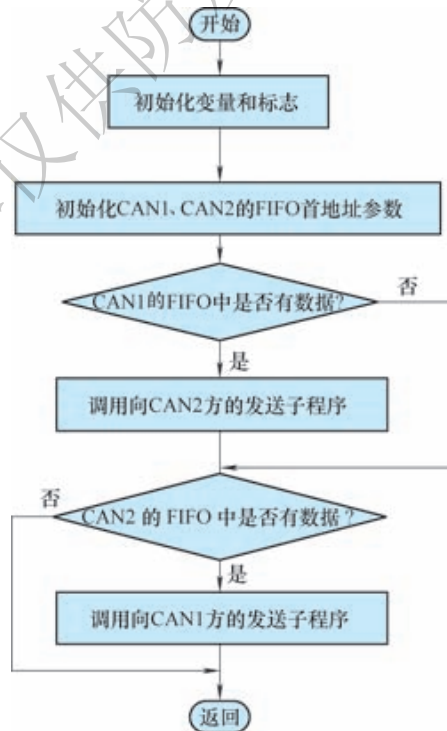


图 3-67 主监控程序流程



```

START:
    MOV        SP, #OE9H
    MOV        R0, #0H
    CLR        A                ; 片内 RAM 清零, 初始化变量和标志
CLAIR:
    MOV        @R0, A
    DJNZ      R0, CLAIR
WORK:
    MOV        CBF1RP, #30H    ; 初始化 CAN1 的 FIFO 首址参数 (72 个字节单元)
    MOV        CBF1TP, #30H
    MOV        BF1LEN, #0
    MOV        CBF2RP, #78H    ; 初始化 CAN2 的 FIFO 首址参数 (112 个字节单元)
    MOV        CBF2TP, #78H
    MOV        BF2LEN, #0
    ANL        TCON, #OFAH    ; INT0、INT1 采用电平中断, 防止中断丢失
    MOV        IE, #85H        ; 允许 INT0 和 INT1 中断
                                ; 主程序监控流程
MLOOP:
    NOP
    MOV        A, CBF1RP        ; CAN1 接收指针与发送指针比较
    CJNE      A, CBF1TP, LOOP1 ; CAN1 的 FIFO 中有数据, 发送给 CAN2
    NOF
    SJMP      LOOP2            ; CAN1 的 FIFO 中无数据
    NOP
                                ; 进入对 CAN2 的 FIFO 检测
LOOP1:
    LCALL     TDATA2            ; 调用向 CAN2 方的发送子程序
LOOP2:
    NOI
                                ; 查看 CAN2 的 FIFO
    MOV        A, CBF2RP        ; CAN2 接收指针与发送指针比较
    CJNE      A, CBF2TP, LOOP3 ; CAN2 的 FIFO 中有数据, 发送给 CAN1
    NOF
                                ; CAN2 的 FIFO 中无数据
    SJMP      MLOOP            ; 循环检测
    NOP
LOOP3:
    LCALL     TDATA1            ; 调用向 CAN1 方的发送子程序
    NOP
    SJMP      MLOOP

```

(2) 接收中断子程序设计 接收中断子程序负责 CAN 总线数据的接收。网桥软件中

共有两个接收中断子程序，分别对应两路 CAN 总线控制器。当任一路 CAN 总线控制器从总线上接收到数据时，向 CPU 提出中断申请，CPU 响应中断，执行中断处理程序完成数据接收。在中断处理程序中，除了将 CAN 控制器中的接收数据存入 CPU 内部相应的 FIFO 中之外，还要进行相应 FIFO 参数的调整，包括 FIFO 接收数据指针和 FIFO 中存储数据的有效字节长度。当 FIFO 中空闲字节空间不够存储最近接收的数据帧时，接收数据帧将被丢弃，直到有多余的空间释放出来为止。采用上述措施能有效避免 FIFO 中数据的覆盖，提高了数据的安全性。网桥第一路接收中断子程序流程如图 3-68 所示，第二路接收中断子程序除了有关 FIFO 参数的部分，与第一路基本相同。

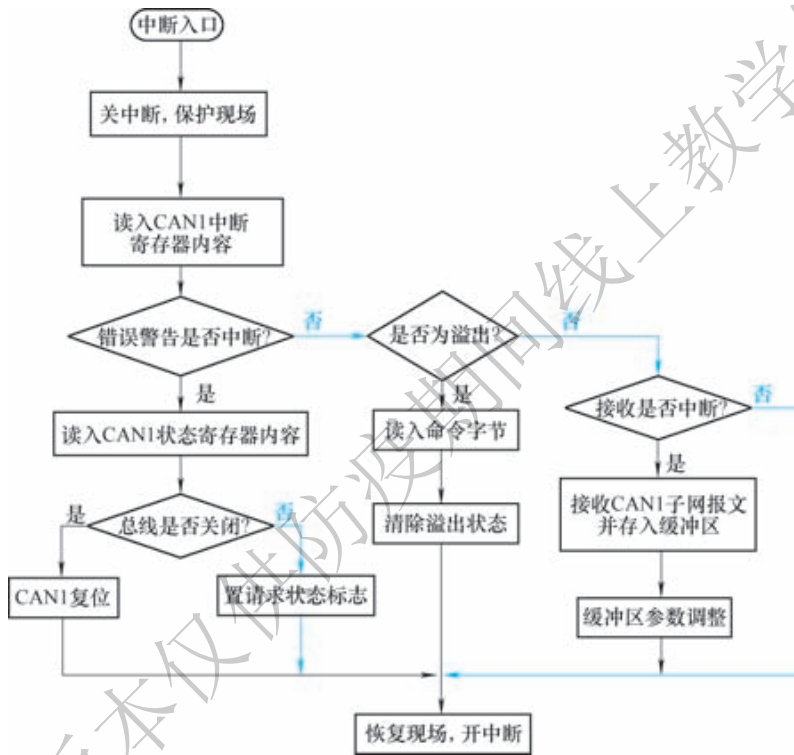


图 3-68 网桥第一路接收中断子程序流程

(3) 发送子程序设计 发送子程序进行 FIFO 中的数据发送，网桥软件中共有两个发送子程序，分别对应两路 CAN 总线控制器。发送子程序的调用在主监控程序中进行，当主监控程序确认某一路 CAN 总线控制器非空时，调用发送子程序向另一路发送数据。在发送子程序中，除了将 FIFO 中数据向另一方发送外，同样 FIFO 也进行相应的参数调整，包括发送数据指针和 FIFO 中存储数据的有效字节长度。当不符合发送条件时，前面的发送子程序中采用循环等待法，直到条件满足为止，而网桥的发送子程序检测到目前发送条件不符合时则直接返回。中断器采用直接返回法，可利用这段时间处理其他事务，提高执行效率，而作为单个节点，则无须这样。网桥的第一路发送子程序如下（第二路发送子程序除了有关 FIFO 参数的部分，与第一路基本相同）：

TDATA;



```

MOV      DPTR, #SR1
MOVX    A, @DPTR
JNB     ACC.4, TS0      ; 判断 SJA1000 是否正在接收, 正在接收则返回
RET
TS0:
JB      ACC.3, TS1      ; 判断先前发送是否完成, 未完成则返回
RET
TS1:
JB      ACC.2, TS2      ; 判断 SJA1000 发送缓冲区是否锁定, 锁定则返回
RET
TS2:
CLR     EA              ; 发送过程中关中断, 以免干扰发送
MOV     DPTR, #TXB1     ; 将 FIFO 中的数据送往 CAN 发送缓冲器
MOV     R0, CBF2TP      ; R0 取代 P80C52 的 FIFO 发送数据指针
MOV     A, @R0          ; 读取首字节 (帧信息)
MOVX    @DPTR, A
ANL    A, #0FH          ; 获取数据域的长度 (字节数)
ADD    A, #4            ; 加 4 个字节的 ID
MOV     R6, A
DEC    BF2LEN
MTBF:
INC     R0
CJNE   R0, #0E8H, MTBR ; CAN2 的 FIFO 范围为 78H~E7H
MOV     R0, #78H        ; 若超出范围, 则调整返回首地址
MTBR:
MOV     A, @R0
INC    DPTR
MOVX   @DPTR, A
DEC    BF2LEN          ; 第二路 FIFO 中有效字节长度调整
DJNZ   R6, MTBF
MOV    DPTR, #CMR1     ; 命令寄存器
MOV    A, #01H
MOVX   @DPTR, A        ; 启动发送
INC    R0
CJNE   R0, #0E8H, MTBR1
MOV    R0, #78H
MTBR1:

```



```
MOV      CBF2TP, R0      ; 调整第二路 FIFO 发送数据指针
SETB     EA              ; 开中断
NOP
RET                               ; 返回
```

本章小结

CAN 总线具有较强的纠错能力，支持差分收发，适合高干扰环境，并具有较远的传输距离，数据通信具有可靠性、实时性和灵活性。CAN 总线在汽车上的应用情况已成为汽车数字化程度的一个重要标志。CAN 主要由 ECU 内部的 CAN 控制器和收发器、ECU 外部连接的两条 CAN 总线和整个系统中的两个终端组成。ECU 通过收发器与 CAN 总线相连，相互交换数据。CAN 控制器根据两根线的电位差判断其总线的电平，发送节点通过改变总线电平，将报文发送到接收节点。与总线相连的所有节点都可以发送报文，在两个以上的节点同时开始发送报文的情况下，具有优先级报文的节点获得发送权，其他所有节点转为接收状态。

复习思考题

1. 简述 CAN 总线的特点。
2. 画图分析 CAN 总线位的数值表示方法。
3. 简述通信协议按速度分类情况。
4. 画图分析 CAN 总线的分层结构及各层的主要功能。
5. CAN 的数据帧由哪几部分组成？
6. 画出 MAC 数据帧的结构图，并加以分析。
7. 画出 MAC 远程帧的结构图，并加以分析。
8. 简述 CAN 的基本组成。
9. 介绍 CAN 数据传递终端类型及特点。
10. 简述 CAN 数据传输原理。
11. 介绍典型 CAN 控制器的基本结构原理。
12. 介绍典型 CAN 收发器的基本结构原理。
13. 简述 CAN 的基本设计方法。