

河南理工大学
全日制硕士学位论文

基于 CAN 总线的大型集中润滑系统的研制

申请人姓名：程晓琦
指导教师：李长有
学位类别：工学硕士
专业名称：机械工程
研究方向：传感与测控技术

河南理工大学机械与动力工程学院
二〇一二年六月

河南理工大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含任何其他个人或集体已经公开发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均已在论文中作了明确的声明并表示了谢意。

本人学位论文与资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

学位论文作者签名：

年 月 日

河南理工大学

学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解 河南理工大学 有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权 河南理工大学 可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索和传播，可以采用影印、缩印或扫描等手段保存、汇编、出版本学位论文。

保密的学位论文在解密后适用本授权书。

学位论文作者签名：

指导教师签名：

年 月 日

年 月 日

中图分类号: TP29
UDC: 681.5

密 级: 公开
单位代码: 10460

基于 CAN 总线的大型集中润滑
系统的研制
Development of Large Scale Integral
Lubricating System based on CAN Bus

申请人姓名	程晓琦	申请学位	工学硕士
学 科 专 业	机械工程	研究方向	传感与测控技术
导 师	李长有	职 称	教授
提 交 日 期	2012 年 4 月	答 辩 日 期	2012 年 6 月

河南理工大学

致 谢

时光飞逝，转眼间三年令人怀念的研究生生活即将结束，马上就要离开亲爱的母校，走上社会岗位，开始新的生活，在此即将毕业之际，回想起三年以来难忘的研究生生活，依然历历在目，记忆犹新。在此期间，我的导师、同学和家人在学习和生活上给予我许多的关怀、支持和爱护，在这里我要向曾经关心支持过我的人们致以衷心的感谢！

首先要向我的导师，李长有教授表示发自内心的感谢。在研究生学习阶段，李老师对我的学习和研究进行了认真的引导，并为我提供了良好的生活和学习条件。在本论文的选题、研究内容和写作方法上也给予了细致入微的指导。李老师严谨求实的科研精神；谦虚谨慎、与世无争的处世态度；正直、善良、大公无私的崇高人格是我学习的榜样。在此，我要向我的导师李长有教授表示诚挚的谢意！

还要感谢在生活和学习中给我很多帮助的同窗好友蔡建发、李艳琴、胡德恩、王文华、贾明明等。他们帮助我解决了许多专业知识上的难题，也澄清了许多概念上的混淆之处。另外在生活和学习上的相互帮助，使我们之间建立了深厚的友谊，如果没有他们的关心和帮助，我的毕业论文同样难以完成。

还要感谢我的父母和家人。三年在校学习期间，由于研究任务繁忙，因此很少有回家的机会。没有父母和家人的支持和谅解，我根本不能够集中精力顺利完成毕业论文的撰写工作。

另外还要感谢本论文参考文献的作者们。他们的研究成果是我进行课题研究的基础和知识的源泉。只有在分析和总结了这些研究成果之后，我的论文才具有了一定的深度和广度。

最后，要向对本论文进行审阅的专家以及参加答辩会的评委和老师们表示由衷的感谢。各位老师和专家能够抽出您们宝贵的时间来对我的论文进行评审，本身就是对我三年学习和研究结果的肯定和认可，就是对学生的一种鼓励和鞭策。

程晓琦

二〇一二年四月

河南理工大学

摘要

随着工业控制自动化程度的不断提高，生产规模的不断扩大，传统的独立仪表已经不能满足控制系统向分散化、网络化、智能化方向发展的要求，一种新型的基于现场总线的智能仪表测控网络应运而生。本文重点研究了基于 CAN 总线的大型集中润滑系统设计的关键技术和实现方法。

本文首先阐述了测控系统的网络化发展方向及常用的网络通信技术，并分析了现场总线技术的优越性；研究了大型集中润滑系统的发展现状。

第二，通过研究大型集中润滑系统的功能要求，设计了系统的网络拓扑结构及通信网络；深入研究了 CAN 总线的通信协议和技术规范，并将其各项技术应用于大型集中润滑系统的设计。

第三，完成了大型集中润滑系统通信接口电路的硬件设计，在此基础之上，对系统节点进行编址；提出了网络实现单播、组播和广播的方法；分析并设置了系统通信采用的速率。

第四，完成了系统各个节点的硬件设计；设计了系统的网络通信协议，并分析了系统实现节点的动态增加与去除、系统故障的自诊断等功能的过程；完成了控制中心的图形界面软件及各个下位机节点的程序设计。

最后，指出了该大型集中润滑系统的不足之处，及将来的改进方向。

研究表明：基于 CAN 总线的大型集中润滑系统能够满足上千个润滑节点的网络通信和润滑控制要求，并且具有较高的可靠性，较强的实时性，以及较低的成本。

关键词：测控网络；CAN 总线；大型集中润滑系统

Abstract

With the degree of automation is improving continuously, and the unceasing expansion of production scale in industry control, the traditional independent measuring instrument will not be able to satisfy the control system's development requests of decentralization, network and intelligence. The intelligent measuring instrument base on the field bus arises at the historic moment. The paper focuses on the study of the key technologies and realization methods of large-scale measuring and the establishment of control network based on CAN bus.

Firstly, the paper elaborates the network development trends of measuring and control system and the common network communication technologies; analyzes the superiority of the field bus technology; studies the development situation of large-scale integral lubricating system.

Secondly, the topology structure and the communication network are designed based on the study of the function requirements of large-scale centralized lubrication system; the communication protocol and technical standards of CAN bus are studied, and these technologies are applied to large-scale centralized lubrication system.

Thirdly, the hardware design of the communication interface circuit in large-scale centralized lubrication system is accomplished. Based on this, the nodes of the system are addressed; the methods to realize unicast, multicast, and broadcast are proposed; the communicating rate adopted by the system is set.

Fourthly, the hardware design of all kinds of nodes is accomplished; the paper designs the network communication protocol and analyzes the process of adding or removing nodes dynamically and self-diagnosis of system failures; the software design of the control center's graphic interface and all the lower position nodes are accomplished.

At last, the paper points out the insufficiencies of the large-scale integral lubricating system and the improving direction in the future.

The results show that: the large-scale integral lubricating system based on CAN bus can meet the needs of thousands of nodes' measuring, control and communication, and have high reliability, high real-time performance, and low cost.

Keywords: measuring and control network; CAN bus; large-scale integral lubricating system

目 录

摘要.....	I
目录.....	V
1 绪论.....	1
1.1 课题背景及研究意义.....	1
1.1.1 测控系统概述.....	1
1.1.2 测控系统网络化发展.....	1
1.1.3 大型集中润滑系统简介.....	1
1.2 国内外文献综述及检索.....	2
1.2.1 计算机网络.....	2
1.2.2 常用的现场总线及发展趋势.....	4
1.2.3 集中润滑形式.....	5
1.3 论文主要研究内容.....	6
2 大型集中润滑系统总体方案设计.....	9
2.1 大型集中润滑系统的功能要求.....	9
2.2 网络构建.....	10
2.2.1 网络拓扑结构设计.....	10
2.2.2 通信网络设计及技术运用.....	11
2.3 大型集中润滑系统整体结构设计.....	17
3 大型集中润滑通信系统设计.....	19
3.1 通信模块硬件设计.....	19
3.1.1 通信模块原理设计.....	19
3.1.2 通信模块抗干扰设计.....	21
3.1.3 通信模块电路图设计.....	21
3.2 系统网络配置.....	22
3.2.1 系统编址.....	22
3.2.2 系统波特率的设置.....	27
4 大型集中润滑系统节点硬件设计.....	31

4.1 CAN-RS232 转换器硬件设计	31
4.1.1 RS-232 通信模块设计.....	31
4.1.2 CAN-RS232 转换器原理图	31
4.2 网桥节点硬件设计	31
4.3 润滑节点硬件设计	32
4.3.1 流量检测模块设计.....	32
4.3.2 压力检测模块设计.....	32
4.3.3 温度检测模块设计.....	33
4.3.4 现场人机交互接口设计	34
4.3.5 润滑节点电路图.....	35
4.4 泵节点硬件设计.....	35
4.4.1 油泵转速检测模块设计	35
4.4.2 泵节点电路图.....	36
5 大型集中润滑软件系统设计.....	37
5.1 系统通信协议设计	37
5.1.1 系统通信流程.....	37
5.1.2 系统通信命令设计.....	38
5.2 控制中心软件设计	51
5.2.1 MScomm 控件	51
5.2.2 控制中心图形界面设计	52
5.3 各个节点程序设计	54
5.3.1 CAN-RS232 转换器程序设计	54
5.3.2 网桥节点程序设计.....	56
5.3.3 润滑节点程序设计.....	57
5.3.4 泵节点程序设计.....	58
5.3.5 控制程序.....	60
6 总结与展望.....	65
6.1 总结	65
6.2 创新点.....	65
6.3 展望	66

6.3.1 无线扩展.....	66
6.3.2 计算机网络扩展.....	66
参考文献	67
附录.....	73
作者简历	77
学位论文数据集.....	79

1 绪论

1.1 课题背景及研究意义

1.1.1 测控系统概述

随着社会的不断发展，人们越来越需要了解自己身边环境的情况，尤其是在工业生产和科学试验过程中，人们不但需要对被控对象的某些特征参数进行监测，从而获得表现它们特征的有关信息，实现被控对象的定性了解和定量掌握；另外还需要依据检测的结果和设定的控制策略对被控对象的某些特征参数进行控制，从而稳定、快速、准确地使其达到人们预期的目标，测控系统就是一门以实现这样的目标为研究内容的学科。通常所指的测控系统主要指用于医学、环境、工业、国防等领域的各种自动监测系统、仪器仪表、过程控制系统等^[1]。

1.1.2 测控系统网络化发展

随着科学技术的不断进步，在国防、航空、航天、通信、气象、制造、环境监测等领域，需要测试和处理的信息量越来越大、速度要求也越来越高。但是由于测试对象的空间位置往往较为分散，测试任务较为复杂，测试系统过于庞大，需要大量的测试器件，加之，系统各测试点之间以及测试点与中央控制器之间的信息交换量日益增加，配合也日益密切，因此，测控系统向远程化、智能化，特别是网络化发展的要求越来越迫切^[2]。微电子、计算机、网络 and 通信等技术的日趋成熟，则为测控技术网络化的发展提供了强大的技术动力和物质支持。

测控系统的网络化发展不但有助于降低系统的成本，实现远程控制，而且有利于系统的远程诊断与维护^[3]。因此网络化测控技术的深入研究和广泛应用不但具有重要的理论意义，而且具有巨大的实用价值。虽然国内在网络化测控系统方面的研究相对落后于国外，但已经认识到其对社会发展的巨大推动力。

目前，现场总线控制系统是测控系统中发展较快的一个方向，它是一种基于开放通信网络的全分布控制系统。现场总线将挂接在总线上面作为网络节点的智能设备连接成为一个自动化系统，实现基本控制、补偿计算、参数修改、报警、显示、监控、优化及控管一体化的综合自动化功能。现场总线技术的出现开启了工业控制的新时代，其发展趋势必将给自动控制领域带来巨大的影响^[4,5]。

1.1.3 大型集中润滑系统简介

随着生产现代化水平的提高，大型集中润滑系统在工业中的应用越来越广泛，

并成为保证系统长时间可靠工作的重要设备^[6,7]。在冶金、电力等行业，大型设备的轴承润滑，一直是一个十分重要而又没得到很好解决的问题，成为影响设备正常运行的重要制约因素^[8]；烧结机械设备的良好润滑是设备维护管理工作中极为重要的一环^[9]；车辆底盘润滑对于保证车辆良好的经济性、动力性、安全与环保等技术状况和延长车辆的使用寿命十分重要^[10]。

目前使用的集中润滑系统主要分为双线式集中润滑系统和递进式集中润滑系统^[11]，这些润滑系技术不能适应现代大型机械设备的需要，经常造成润滑不足或者过量等状况。于是有人提出采用 RS-485 实现数据总线通信^[12]，但是 RS-485 总线通信距离短，抗干扰能力差，而且是半双工通信，不能满足拥有上千个润滑节点的大型集中润滑系统的润滑需要。

因此，构建大型测控网络并将其应用于大型集中润滑系统具有很高的实用价值。

1.2 国内外文献综述及检索

1.2.1 计算机网络

计算机网络与现场总线之间有着密切的联系，可借鉴计算机网络的理论体系构建基于现场总线的测控网络。计算机网络是用通信线路将多种形式的计算机连接起来，并使其相互之间能够进行信息交换的系统。随着社会的发展，计算机之间实现信息交换，资源共享的要求越来越迫切，这就要求用传输媒体将单台独立的计算机和一些网络设备连接在一起，并配以特定的软件，从而形成一个网络体系。计算机网络是包括了计算机、各种硬件、各种软件、组成网络的体系结构、网络传输介质和网络通信技术的一门学科，是计算机与通信技术相结合的产物^[13]。

1 网络体系结构

计算机系统之间的相互通信需要靠相同的网络协议支持，而一个完整的网络协议包括三个要素：语法、语义和同步^[1]。

- (1) 语法用来描述通信数据的结构或格式；
- (2) 语义用来表达通信数据的类型，该类型数据具有何种含义；
- (3) 同步用来说明事件实现的顺序。

1984 年，国际标准化组织颁布了开放式系统互连参考模 OSI/RM(Open System Interconnect Reference Model)，用于实现网络通信和计算机之间的协同工作。

OSI 体系结构共包含七层模型，从下到上分别为物理层(Physical Layer)、数据

链路层（Data Link Layer）、网络层（Network Layer）、传输层（Transport Layer）、会话层（Session Layer）和应用层（Application Layer）^[14,15]，如图 1-1 所示。



图 1-1 OSI 参考模型
Fig.1-1 OSI reference model

（1）物理层：主要定义的是物理设备标准。该层的主要作用是传输比特流，这一层的数据叫做比特。

（2）数据链路层：该层的主要作用是将从物理层接收到的数据进行 MAC 地址的封装与解封装，常把这一层的数据叫做帧。

（3）网络层：该层的主要作用是将从下层接收到的数据进行 IP 地址的封装与解封装，常把这一层的数据叫做数据包。

（4）传输层：定义了一些传输数据的协议和端口号。该层的主要作用是将从下层接收的数据进行分段传输，到达目标地址后再对这些数据进行重组。常常把这一层的数据叫做段。

（5）会话层：该层的主要作用是通过传输层建立数据传输的通路，在系统之间发起会话或者接受会话请求。

（6）表示层：该层的主要作用是对接收到的数据进行解释。

（7）应用层：该层主要是一些终端的应用。

2 常用网络拓扑形式

网络拓扑是指网络中各节点之间的互连形式。构建合适的测控网络也要选择合适的网络拓扑结构，而计算机网络的拓扑形式主要有以下几种^[1]：

（1）星型拓扑结构

星型拓扑结构的优点是结构简单、建网容易、控制相对简单，而且易于组建

树型或层次型网络拓扑结构。由于星型网络中的所有节点都汇集于中心节点^[16]，所以星型拓扑结构维护起来相对容易，即便发生故障后，受影响的设备也较少。其缺点是主节点负载过重，可靠性较低，而且相对其他网络拓扑来说安装较为困难，使用的电缆也较多。

（2）总线型拓扑结构

总线型拓扑结构是实际应用中普遍采用的一种方式，它具有信道利用率高，结构简单，价格便宜等优点。缺点是该拓扑结构在同一时刻网络中只能有两个节点相互通信，网络延伸距离有限，容纳节点数有限。

（3）环型拓扑结构

环型拓扑结构是由站点和站点间的连接链路组成的闭合环。环中的每个站点都能够接收一条链路发送来的数据，并能够以同样的速率把该数据送到另一端链路上。环型网的典型实例有 IBM 令牌环 (Token Ring) 和剑桥环 (Cambridge Ring)。

（4）混合型拓扑结构

混合型拓扑结构是将星型、总线型和环型中的某些单一拓扑混合起来而构成的拓扑结构。常见的混合型拓扑结构是由星型拓扑和环型拓扑混合成的“星-环”拓扑和由星型拓扑和总线型拓扑混合成的“星-总”拓扑。

目前，工业控制网络中，经常采用总线型拓扑结构实现网络组建，另外由于环型拓扑结构网络延时确定，在实时性要求较高的工业控制中，也有部分应用。

1.2.2 常用的现场总线及发展趋势

当今社会，现场总线已经广泛应用于生产和生活中，由于不同现场总线技术具有不同的特点，所以它们在不同的领域显示了其特有的优势。下面介绍几种常见的现场总线^[17]：

（1）基金会现场总线

基金会现场总线 FF (Foundation Field Bus) 是以 ISO/OSI 开放系统互连模型为基础的总线技术。它除了具有物理层、数据链路层、应用层外，还在应用层上增加了用户层。FF 在过程自动化领域具有很好的发展前景。

（2）LonWorks

LonWorks 用了 ISO/OSI 模型的全部七层协议，它可通过设置参数实现 300bit/s 到 1.5Mbit/s 不等的通信速率，而且通信距离可达 2700 米 (78Kbit/s, 双绞线)，支持多种通信介质，并且开发了与之相关的本质安全防爆产品^[18]。

(3) PROFIBUS

PROFIBUS(Process Field Bus)是由 PROFIBUS-DP、PROFIBUS-FMS 和 PROFIBUS-PA 组成的 BUS。它采用了 OSI 模型中的物理层和数据链路层,其中 FMS 还采用了应用层,传输速率为 9.6Kbit/s~12Mbit/s,当传输速率在 12Mbit/s 时的最大传输距离为 100m, 1.5Mbit/s 时为 400m,在使用中继器的情况下通信距离可延长至 10km。传输介质可为双绞线或光缆。

(4) CAN

CAN(Controller Area Network)是控制器局域网的简称,它有效的实现了分布控制和实时控制。CAN 协议也是以 ISO/OSI 模型为基础,但是只取其物理层、数据链路层和应用层。由于 CAN 总线的信息传输采用短帧结构,所以传输时间较短,受干扰的可能性较低。当 CAN 总线节点发生严重错误时,能够实现自动关闭,以切断自身与总线的联系,减小对总线其他节点的影响。

(5) HART .

HART(Highway Addressable Remote Transducer)是从模拟系统向数字系统转变过程中的过渡性产品,其最大特点是在现有的模拟信号传输线上实现数字信号通信^[19]。

1.2.3 集中润滑形式

目前常见的集中润滑系统有^[20]:

(1) 单线式润滑系统

单线式润滑系统的油压力和供油量较小,所以常用中小型润滑系统。它是靠间歇压力将润滑介质沿一条管路送到分配器,然后再送到各个润滑节点,从而实现给油^[21]。

(2) 双线式润滑系统

双线式润滑系统由换向阀、电动润滑泵、双线主管路、双线分配器、电控箱以及终端压力开关等部件组成。其中润滑泵通过换向阀的换向从而实现对两条主管路的交替注压,注入润滑脂经分配阀,到达各个润滑点,实现给油润滑。双线式润滑系统是目前集中润滑的一种主要方式^[22,23]。

(3) 递进式润滑系统

递进式润滑系统由递进式分配器、润滑泵、控制部件和管路附件等组成。其给油动作是由递进式分配器按照递进的顺序逐个进行的。该形式有个重大的缺点

是只要一处润滑点出现故障就会造成整个润滑系统瘫痪^[24]。

(4) 智能型润滑系统

智能润滑系统常用于具有多个润滑点的大型机械设备。控制中心可以远程控制各个节点的电磁阀，从而实现各个节点润滑的控制工作。另外还可以通过控制中心调节各个节点的给油量和供给时间，各个润滑节点还具有自检功能。由此可见，智能润滑系统具有很高的智能性、可靠性和可扩展性，是集中润滑系统将来的发展方向^[25,26]。

1.3 论文主要研究内容

本文在研究了测控系统网络化发展的趋势及大型集中润滑系统的发展现状后，设计了基于 CAN 总线的大型集中润滑系统。该系统能够实现上千个润滑节点的网络通信和润滑控制，并且具有较高的实时性和可靠性，保证了大型机械长期正常的运转。论文的主体设计框图如图 1-2 所示。

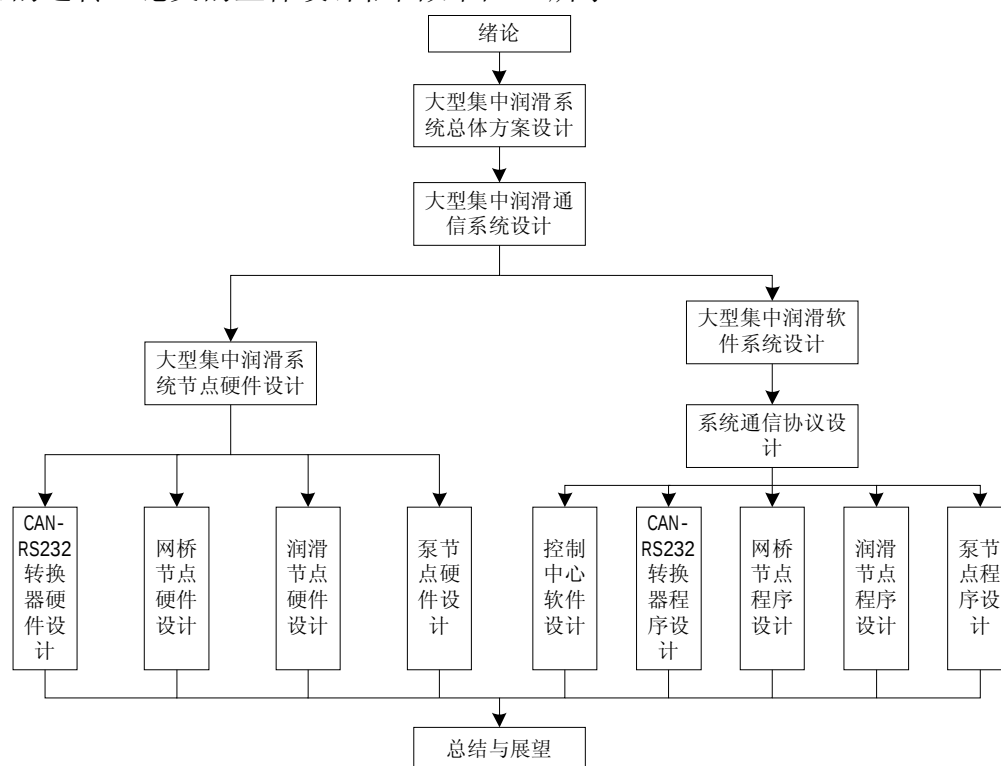


图 1-2 论文主体设计框图

Fig.1-2 The main block diagram of this paper

依据该设计框图，将全文分为六个章节，各章节内容如下：

第一章，阐述了测控系统的网络化发展方向及常用的网络通信技术，并分析了现场总线技术的优越性；研究了大型集中润滑系统的发展现状。

第二章，通过研究大型集中润滑系统的功能要求，设计了系统的网络拓扑结

构及通信网络；完成了大型集中润滑系统的整体结构设计。

第三章，完成了大型集中润滑系统通信模块的硬件设计，在此基础上，对系统节点进行编址；分析、设计了网络实现单播、组播和广播的方法；研究了系统通信速率的设计方法。

第四章，完成了系统中，CAN-RS232 转换器、网桥节点、润滑节点和泵节点的硬件设计。

第五章，设计了系统的网络通信协议，并分析了系统实现节点的动态增加与去除、系统故障的自诊断等功能的过程；完成了控制中心图形界面的软件设计及各个下位机节点的程序设计。

第六章，总结了本论文完成的主要工作，并指出了该大型集中润滑系统的不足之处，及将来的改进方向。

2 大型集中润滑系统总体方案设计

2.1 大型集中润滑系统的功能要求

在大型集中润滑系统中，由于润滑节点众多，而且分布往往较为分散，为了方便工作人员对整个系统实时的监控，这就要求系统中有一个控制中心，每个智能节点（包括润滑节点和泵节点）能够将现场的检测结果和工作状况及时的发送到这个控制中心，控制中心将接收到的数据根据需要展现给工作人员。另外还要求工作人员能够通过控制中心实现底层智能节点工作参数（包括润滑时间、润滑间隔、报警参数和工作模式等）的远程设置，而不需要折返于现场各个节点之间。

由于大型集中润滑系统中的部分润滑节点往往具有相似的控制参数，为了保证系统的实时性，对具有相似参数的节点能够统一监控，这就要求系统具有中间控制器，能够对具有相似参数的润滑节点进行分组控制，在通信过程中，也可以灵活实现单播、组播和广播。

另外，为了保证系统的可靠性，还要求系统所有节点都具有自检功能，而且整个系统还要求具有网络巡检功能。当系统中的某个节点工作异常或者系统网络连接出现断开时，都能及时的发现并报警，当润滑节点失去网络连接时，除了报警还要求能够依据先前保存的参数自动工作，以使系统故障造成的损失可以降到最低。现场工作的节点要求具有的自检功能有：给油管道压力检测、温度检测、流量检测、泵机转速检测和网络连接状态检测等^[27]。

总结来讲，设计一个可靠性高，实时性好、成本低的大型集中润滑系统，该系统的通信和控制要求分为以下三层^[28]：

（1）最高层为控制中心，由一台计算机和监控软件组成，该层用于实现整个网络的远程监测和控制。这一层可以显示整个润滑的运行情况，另外还可以快速完成某一个或一组甚至系统所有节点的参数设置，并可按要求生成各种数据报表。

（2）中间层为中间控制器，该层用于实现整个网络的分组控制。中间控制器接收上层控制中心和底层智能节点的数据，并对数据进行筛选和整理，并完成所在子网智能节点的部分控制工作，每个中间控制控制器负责一组具有相似控制参数的润滑节点的通信和控制，并可灵活、快速的实现单个节点的控制和一组节点的控制，这样就提高了网络的工作效率，减轻了控制中心的负荷。

（3）最底层是智能节点。在大型集中润滑系统中，底层的智能节点包含润滑节点和泵节点两种，它们是网络控制功能的最终实现层，每个智能节点都具有独

立运算、监控的能力。智能节点能够接收并处理中间控制器发送的数据，并执行相应的控制命令。另外智能节点还要求具有自检功能，能够通过各种传感器监测节点的运行现状，并将结果反馈到控制中心。当出现某种故障的情况下，能够显示故障信息。

2.2 网络构建

大型集中润滑系统的网络构建分为两方面：一个是网络拓扑结构的设计，另一个是通信网络的选择及技术运用。

2.2.1 网络拓扑结构设计

常见的拓扑结构有：总线型拓扑结构，星型拓扑结构，环型拓扑结构和混合型拓扑结构^[1]。本系统最终目标要求能够实现上千个润滑节点的通信，并且能够实现分组控制，单一的网络拓扑结构较难实现。考虑到大型集中润滑系统要求分三层实现通信，故设计该系统为具有三层节点的树形网络拓扑结构。如图 2-1 所示。

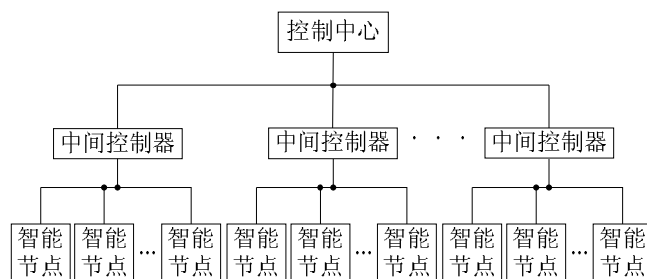


图 2-1 树型网络拓扑结构

Fig.2-1 A network topology with tree structure

在该树型网络拓扑结构中，将系统分为三层，最高层是控制中心，第二层为中间控制器，最低层为智能节点。该拓扑结构还实现了分组控制，其中控制中心和所有的中间控制器为一个网络，该网络实现控制命令的下达与检测结果的上传显示。而每个中间控制器又与连接到自身的所有智能节点构成一个子网，该子网负责控制命令的执行、现场数据的检测和智能节点工作的协调。

另外考虑到星型拓扑结构的建立具有电缆用量大，安装工作量大、中央节点的负荷较重、对中央节点的可靠性和冗余度要求高等缺点，而总线型则是工业控制网络普遍采用的一种网络拓扑结构，这种拓扑结构简单，实现容易，而且易于扩展，可靠性较高。故该方案中设计每个子网都采用总线型拓扑结构。

总结来讲，采用这种基于总线型的树型网络拓扑结构具有结构简单、便于连接、成本低、扩充方便灵活等优点，满足大型集中润滑系统对网络结构的要求。

2.2.2 通信网络设计及技术运用

本文所要设计的润滑系统测控网络除了要求能够满足实时通信、高可靠性，另外还具有高分布性的特点。解决这些问题的关键在于通信网络的选择。

CAN 总线协议作为一种串行通信协议，已经应用在生产生活的方方面面，实践证明，CAN 总线能够很好的满足高安全等级的分布式实时控制。它采用了许多独特的设计和新技术，使得基于 CAN 总线的数据通信具有较高的可靠性、实时性和灵活性。为了在两个 CAN 器件之间建立兼容性，包括电气特性和数据转换的解释，就需要对 CAN 技术规范进行深入学习与研究，并合理将其各项技术运用于构建大型集中润滑系统，将有效提高系统的灵活性、实时性与可靠性。下面将重点研究 CAN 总线通信协议及技术运用。

1 CAN 总线的分层结构

CAN 的 ISO/OSI 参考模型的层结构如图 2-2 所示^[29]。

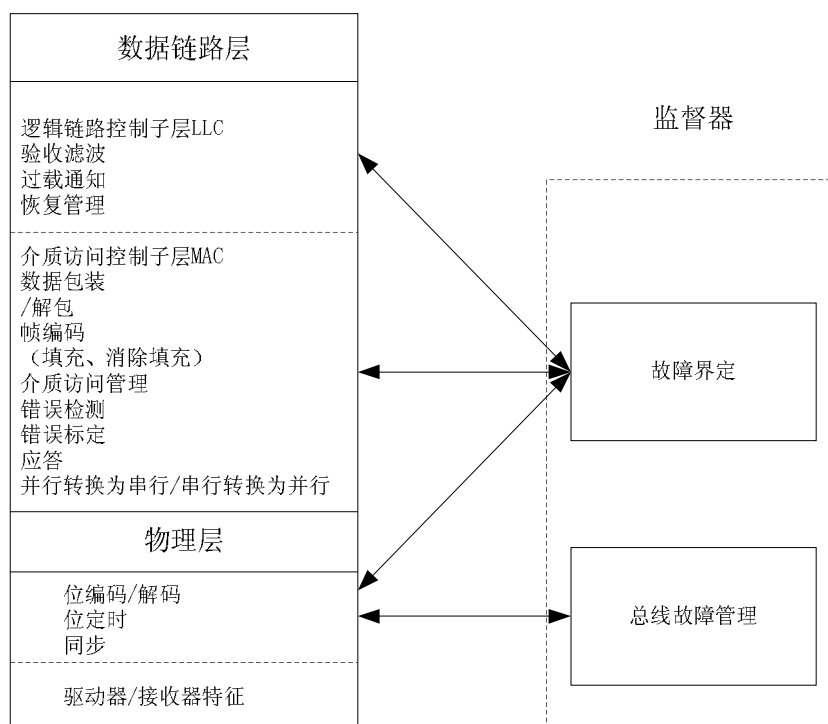


图 2-2 CAN ISO/OSI 参考模型的层结构

Fig.2-2 Layered architecture of CAN according to the OSI reference model

CAN 技术规范的数据链路层描述了与 CAN 有关的外层接口，而物理层则定义信号是怎样发送的。其中 CAN 协议的核心是 MAC 子层，它对 LLC 子层接收到的报文和发送的认可报文进行描述。MAC 子层用来响应报文帧、应答、仲裁、错误检测和标定。MAC 子层由一个称为故障界定的管理实体进行监控，并且具有识

别短暂扰动或永久故障的自检机制。而 LLC 子层的主要功能是实现报文滤波、超载通知恢复以及管理。

2 大型集中润滑系统通信的帧类型

CAN 总线进行信息传送的基本单位是报文。CAN 通信协议规定了以下 4 种帧格式：数据帧、远程帧、错误帧和超载帧^[30-32]。在大型测控系统中，选择合适的帧类型传输对应的数据类型，将有效提高通信的可靠性和实时性。

(1) 数据帧

数据帧用于实现数据传送，它由 7 个位场组成，分别是：帧起始标志位、仲裁场、控制场、数据场、CRC 检查场、ACK 应答场和帧结束标志位。其中数据场的长度可为零。CAN 2.0A 数据帧的组成如图 2-3 所示。

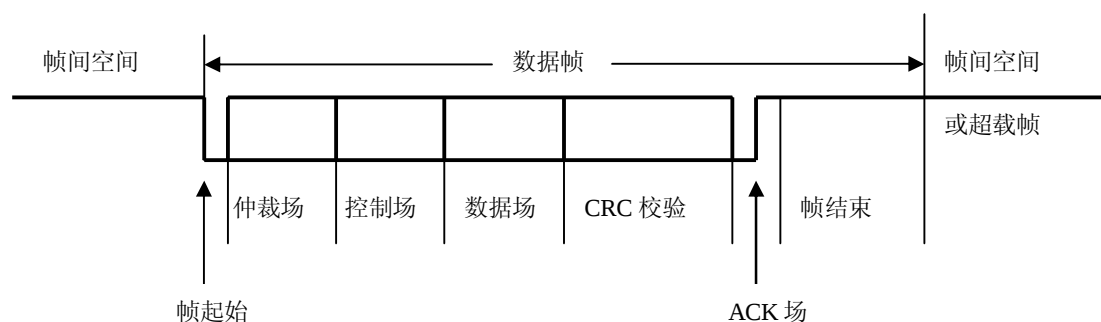


图 2-3 数据帧格式
Fig.2-3 The format of data frame

在 CAN 2.0B 中规定了标准帧和扩展帧两种不同的帧格式。其中标准帧具有 11 位标识符，而扩展帧具有 29 位标识符。它们的格式如图 2-4 所示。

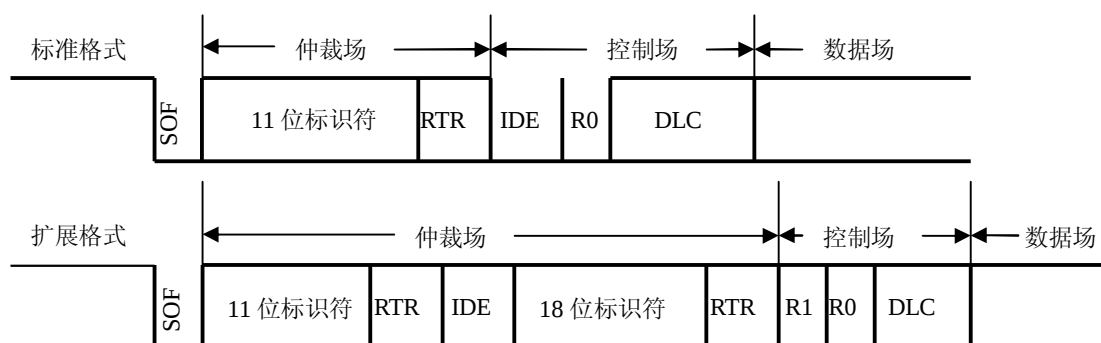


图 2-4 标准格式和扩展格式数据帧
Fig.2-4 The standard format and extended format of data frame

(2) 远程帧

远程帧用于实现远程数据请求，它由 6 个不同的场组成，分别是：帧起始标志位、仲裁场、控制场、CRC 场、应答场和帧结束标志位。远程帧的组成如图 2-5 所示。

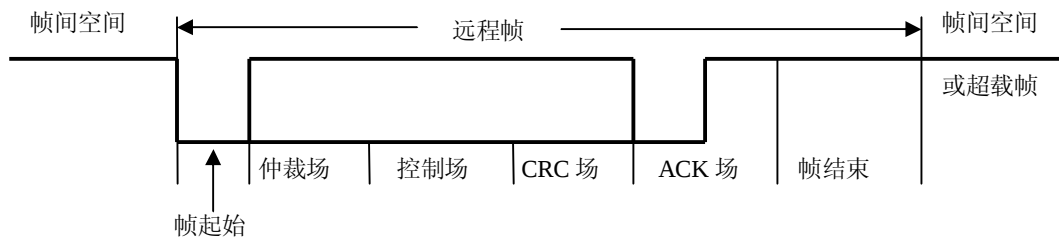


图 2-5 远程帧格式
Fig.2-5 The format of remote frame

(3) 错误帧

错误帧是当节点接收到认为是错误的信息时，向总线发送的一种帧类型。它由错误标志叠加场和错误界定符组成，前者由各站的错误标志叠加得到。错误帧的组成如图 2-6 所示。

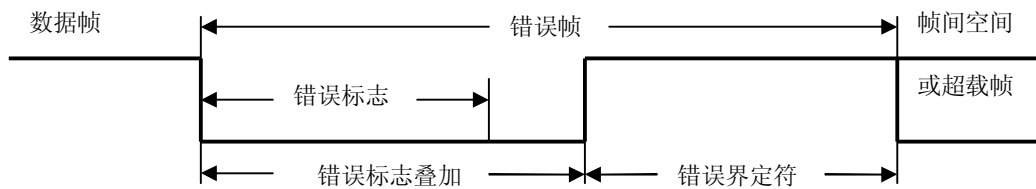


图 2-6 错误帧格式
Fig.2-6 The format of error frame

(4) 超载帧

在接收方未准备好接收数据或者在帧间空间检测到显性位信号时，将发送超载帧。超载帧由超载标志和超载界定符两个场组成，如图 2-7 所示。

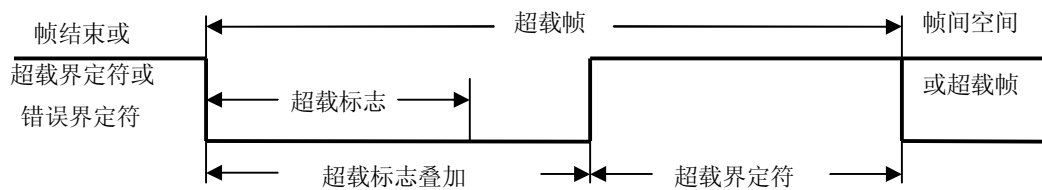


图 2-7 超载帧格式
Fig.2-7 The format of overload frame

对以上四种帧格式进行分析可以看出，错误帧和超载帧是当总线发生异常时自动发送的帧数据，不能用来实现有效的数据通信。而远程帧是用来启动其他资源节点发送它们各自的数据，但由于远程帧无数据场，在大型润滑系统中，仅靠远程帧不能满足复杂的远程数据发送的请求。在这四种帧格式中，数据帧有 8 字节的数据场，可以用来描述多种不同的控制要求、数据请求类型，并足够将相应的参数附加在数据帧中，所以，在该系统中，所为的命令下达及数据请求都采用数据帧来传输。

3 大型集中润滑系统通信的帧结构

下面，将详细分析 CAN 2.0B 协议的标准帧格式和扩展帧格式及其区别。

(1) CAN 2.0B 标准帧

CAN 2.0B 标准帧信息包括信息和数据两个部分，共 11 字节，其中字节 1~3 为信息部分，字节 4~11 为数据部分，如表 2-1 所示。

表 2-1 CAN 2.0B 标准帧
Tab.2-1 CAN 2.0B standard frame

	7	6	5	4	3	2	1	0
字节 1	FF	RTR	X	X	DLC（数据长度）			
字节 2	（报文标识符）ID.10~ID.3							
字节 3	ID.2~ID.0			RTR				
字节 4	数据 1							
字节 5	数据 2							
字节 6	数据 3							
字节 7	数据 4							
字节 8	数据 5							
字节 9	数据 6							
字节 10	数据 7							
字节 11	数据 8							

(2) CAN 2.0B 扩展帧

CAN 2.0B 扩展帧信息也包括信息和数据两个部分，共 13 字节，其中字节 1~5 为信息部分，字节 6~13 为数据部分，如表 2-2 所示。

表 2-2 CAN 2.0B 扩展帧
Tab.2-2 CAN 2.0B extended frame

	7	6	5	4	3	2	1	0
字节 1	FF	RTR	X	X	DLC（数据长度）			
字节 2	（报文标识符）ID.28~ID.21							
字节 3	ID.20~ID.13							
字节 4	ID.12~ID.5							
字节 5	ID.4~ID.0				X	X	X	X
字节 6	数据 1							
字节 7	数据 2							
字节 8	数据 3							
字节 9	数据 4							
字节 10	数据 5							
字节 11	数据 6							
字节 12	数据 7							
字节 13	数据 8							

对比标准帧和扩展帧的格式可以看出，它们主要差别是报文标识符的长度不

同。标准帧的报文标识符长度为 11 位，扩展帧的报文标识符长度为 29 位。在大型润滑系统中，由于节点众多，为了实现数据精确的传达，需要对节点进行编址，并使每一个节点的地址都是独一无二的，这样，节点以地址为标准，就可以识别哪些是有效数据。将地址信息作为报文标识符，从而与参数整合为一帧数据再发送出去，可以提高通信的可靠性，并减少节点数据处理的工作量。所以，在本文设计的大型集中润滑系统中，将所有节点的地址信息都作为报文标识符发送。

标准帧的 11 位报文标识符只能实现 4096 个节点的编址，而扩展帧的 29 位报文标识符从理论上讲，几乎不限节点的数量。如果采用标准帧编址，系统的地址资源紧张，这样就造成节点编址不灵活，所以在本文设计的系统中，所有的节点间数据通信都采用 CAN 2.0B 协议的扩展帧格式。

4 CAN 的位仲裁技术

CAN 总线使用的通信模式叫做“载波监测，多主掌控/冲突避免”(CSMA/CA)。在这种通信模式下，总线上的所有设备都有取得总线的控制权从而向外发送信息的机会。当某一时刻，总线上有两个或两个以上的设备同时需要发送信息时，这种情况下便会发生数据冲突，CAN 总线的位仲裁技术能够保证系统实时地检测出这些冲突并做出预订的仲裁，从而保证获得总线控制权的信息帧能够不受任何损坏的继续传输^[5]。下面介绍 CAN 的位仲裁是如何实现的。

总线在空闲时呈现的是隐性电平，在这种情况下，总线上的任何一个节点都可以向总线发送一个显性电平表示一个帧数据发送的开始。但是，当有多个节点同时要求开始发送数据时，便会产生总线竞争，这时 CAN 总线会按位对标识符进行仲裁。各发送节点在向总线发送每一位数据的同时，也会对总线上的电平进行检测，如果检测到得总线电平与自身发送的位数据电平相同时，则该节点继续发送下一位数据，反之，如果检测到的总线电平与发送的位数据电平不同时，就会停止发送数据，并退出总线竞争。而剩下的节点继续以上的过程，当总线上只剩下一个节点发送数据时，总线竞争结束。由此可见，具有最低二进制数的标识符具有最高的优先级。

假如 CAN 总线上有 3 个信息帧同时发送，则 CAN 总线对它们的仲裁过程如图 2-8 所示。

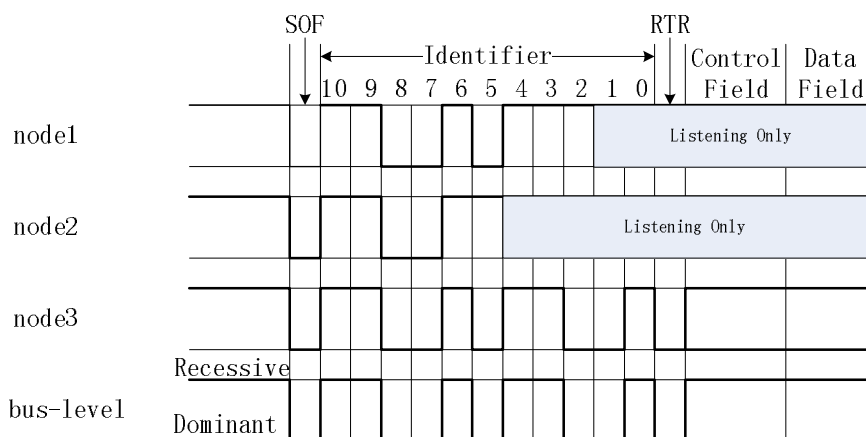


图 2-8 三个 CAN 信息帧在总线上的竞争情况

Fig.2-8 The competition of 3 information frames on the CAN bus

在发送前 5 位标识符是，由于它们都是相同的，因此每个节点检测到的总线电平与发送的位数据电平相同。当发送第 6 位标识符时，节点 2 发送位数据为“1”，但是，检测到的总线数据却是“0”，说明有更高优先级的信息帧在发送。这时，节点 2 退出竞争，而转为只听模式，节点 1 和节点 3 继续发送。当发送第 9 位标识符是，节点 1 发送位数据“1”，检测到总线为“0”，随即也退出总线竞争，转为只听模式。最终，只有节点 3 成功发送完信息仲裁场，从而获得总线的控制权，实现整个帧信息的发送。由此可见，这种仲裁方法在完成仲裁前就已经实现部分数据标识符的发送，从而提高了数据发送的效率^[33]。

综上所述，利用 CAN 总线的位仲裁技术，可以实现大型集中润滑系统的全双工通信方式，该技术保证了系统通信的实时性和灵活性。

5 CAN 报文滤波技术在大型集中润滑系统中的应用

利用 CAN 总线的报文滤波技术，可以实现点对点、一点对多点及全局广播等多种数据传送和接收的方式。CAN 总线的报文滤波取决于整个标识符，也可以使用屏蔽寄存器设置标识符的某些位为“不考虑”或“无关”，从而实现多组标识符与不同的接收缓冲器对应^[34]。

在本文设计的大型集中润滑系统中，利用 CAN 总线的报文滤波技术，对作为标识符的地址信息过滤，可以实现节点自动只接收某个固定节点地址或某些固定地址的帧信息，从而省去了 MCU 判断帧信息地址的工作，提高了系统通信的实时性。

CAN 报文滤波技术的具体实现视不同的 CAN 控制器而不同，在后面的章节中将结合具体的 CAN 控制器详细描述 CAN 报文滤波技术的实现。

2.3 大型集中润滑系统整体结构设计

根据设计的树型网络拓扑结构和 CAN 总线通信网络，设计大型集中润滑系统的整体结构框图如图 2-9 所示。

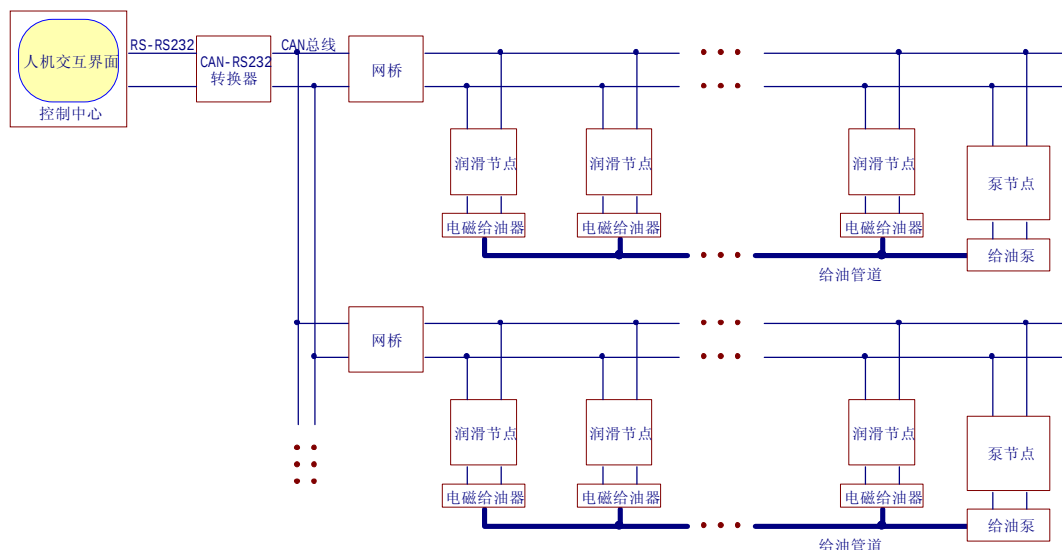


图 2-9 CAN 总线润滑系统结构图

Fig.2-9 The structure map of intelligent lubrication system

在该系统方案中，包括以下几个主要部分：控制中心人机交互界面、CAN-RS232 转换器、网桥、电磁给油器、润滑节点、泵节点、给油泵等。

该方案中，控制中心由一台 PC 机和在台 PC 机上运行的监控软件组成，这台 PC 机要求运行的 Windows XP 操作系统，而监控软件可使用 Visual Studio 2005 平台下的 Visual Basic 语言编写。因为多数 PC 机上都集成有 RS-232 串口，所以 PC 机与下位节点的通信选择采用 RS-232 串口实现，在没有 RS-232 串口的 PC 机上可选择 USB 转串口实现，而监控软件的通信实现主要利用 MSComm 控件实现^[38,39]，MSComm 控件作为一个串行通讯控件为程序员串口通讯编程节省了很多时间。

由于 RS-232 协议的通信距离有限，在 15 米左右，所以在 PC 机的串口与网桥之间需要增加一个 CAN-RS232 转换器，利用 CAN 总线实现远距离的数据传输。这个 CAN-RS232 转换器的作用相当与计算机网络组建中网关的作用，它仅仅实现 RS-232 网络与 CAN 总线网络之间的协议转换。这样当工作人员通过控制中心计算机的人机交互界面向系统发送控制命令和获取工作状况信息时，就要求计算机串口发出的数据经过 CAN-RS232 转换器转换为 CAN 协议数据再发送到网络。同理，网桥向控制中心发送的 CAN 协议数据也需要经过 CAN-RS232 转换器转换为 RS-232 数据再进入到计算机串口。

在该方案中，网桥的功能也与计算机网络中的网桥相似，也具有报文过滤的功能，但同时也是一个控制器。当网桥接收到控制中心发送的一帧数据时，只有当这一帧数据是发送给该网桥节点或者该网桥节点所连接的子网时，网桥才接收，实现滤波功能。控制中心也可以将润滑节点和泵节点的部分控制工作交给网桥，然后由网桥负责所连接的子网节点的管理和控制工作，实现控制功能。这样不但减轻了网上的负荷，减少了扩展的网段上所有节点所经受的平均时延，提高了系统的实时性，还扩大了通信距离、增加了节点的最大数量、提高了系统的可靠性^[40]。

在工业现场包括润滑节点、电磁阀、泵节点、给油泵和给油管道等，在本论文中，将润滑节点和泵节点统称为智能节点。其中，电磁阀开或闭由润滑节点控制，而给油泵的运转或者停止由泵节点控制。现场油箱中的润滑油脂需经泵节点、给油管道、电磁阀才能到达需要润滑的摩擦副。润滑节点为给油过程的主要控制设备，当需要给油时，润滑节点打开自身节点的电磁阀，同时要求泵节点驱动给油泵运转。而给油泵是润滑系统的核心设备，它为润滑油脂的流动提供动力，将润滑油脂最终输送到润滑点。在电磁阀和润滑点之间还有流量传感器，当电磁阀接到命令打开给油时，流量传感器则检测给油的量，当达到润滑要求时，润滑节点就关闭电磁阀。在必要的情况下，现场一个油站可配置有二台电动润滑油泵(其中一台为备用泵)。在该设计方案中，每个润滑点的给油量都是可以根据需要改变的，且某一点有故障不影响其它各点给油。

由于该设计方案采用 CAN 总线实现通信，根据 CAN 总线的特点，总路线上目前可驱动 110 个节点来计算，则该网络系统中可连接 109 个网桥，由于每个网桥子网至少配置一台泵节点，则每个网桥可连接 108 个润滑节点，那么该设计方案可满足 $109 \times 108 = 11772$ 个润滑点的自动润滑功能。

3 大型集中润滑通信系统设计

大型集中润滑系统的通信主要是指各个 CAN 接口之间的数据交换。则本章所要完成的通信系统设计主要包括 CAN 接口硬件设计以及系统的网络配置，其中系统的网络配置包括系统各个节点的编址以及系统通信速率的设置。

3.1 通信模块硬件设计

3.1.1 通信模块原理设计

在大型集中润滑系统中，通信模块是指 CAN 节点通信接口电路。CAN 节点的硬件电路主要包括三部分：CAN 总线通信控制器、微处理器和 CAN 总线收发器。其中，CAN 通信控制器是完成 CAN 总线通信协议的主要器件，而 CAN 总线收发器则具有增大通信距离，提高系统抗干扰能力的功能。

本文采用 STC10F04XE 作为控制芯片，SJA1000 作为 CAN 总线通信控制器，而 CAN 总线收发器采用的是 PCA82C250，并在物理总线的连接处增加了高速光电耦合器 6N137 实现信号隔离，以提高系统的抗干扰能力。CAN 接口的硬件框图如图 3-1 所示^[41-44]。

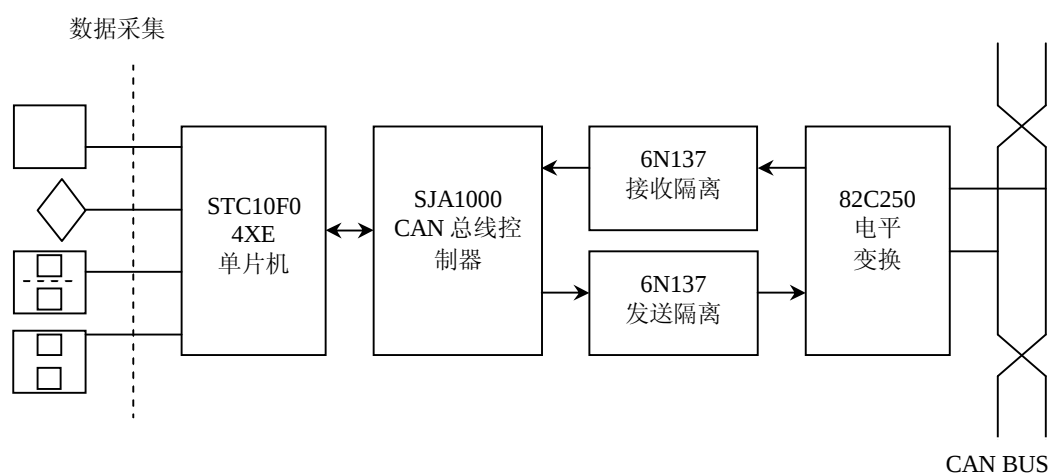


图 3-1 CAN 总线驱动电路方框图
Fig.3-1 The block diagram of CAN bus drive circuit

(1) STC10F04XE 简介

STC10F04XE 单片机是由宏晶科技研发生产的一款增强型 51 单片机，其指令代码完全兼容传统的 8051 单片机，且运算速度要快 8~12 倍。另外其内部集成了高可靠复位电路、4K 的 EEPROM、看门狗等功能，适用于各种高速通信，智能控制的场合，而且抗干扰能力较强^[45]。在本文设计的 CAN 接口电路中，STC10F04XE 以片外存储器的形式实现对 SJA1000 操作，实现数据的接受与发送。

(2) CAN 控制器 SJA1000

目前市场上有两种比较流行的 CAN 总线器件：一种是集成了 CAN 总线通信控制器的微处理器，如 P87C591 等；另一种是独立的 CAN 总线通信控制器，如 SJA1000。本文所选用的 SJA1000 是一种独立的 CAN 总线控制器，并且已经广泛应用于汽车和一般工业环境中的网络控制。

SJA1000 是 PHILIPS 公司生产的 PCA82C200 CAN 控制器（BasicCAN）的替代产品，具有 BasicCAN 和 PeliCAN 两种工作方式，其中 PeliCAN 工作方式支持具有很多新特性的 CAN 2.0B 协议。其内部结构如图 3-2 所示^[46]。

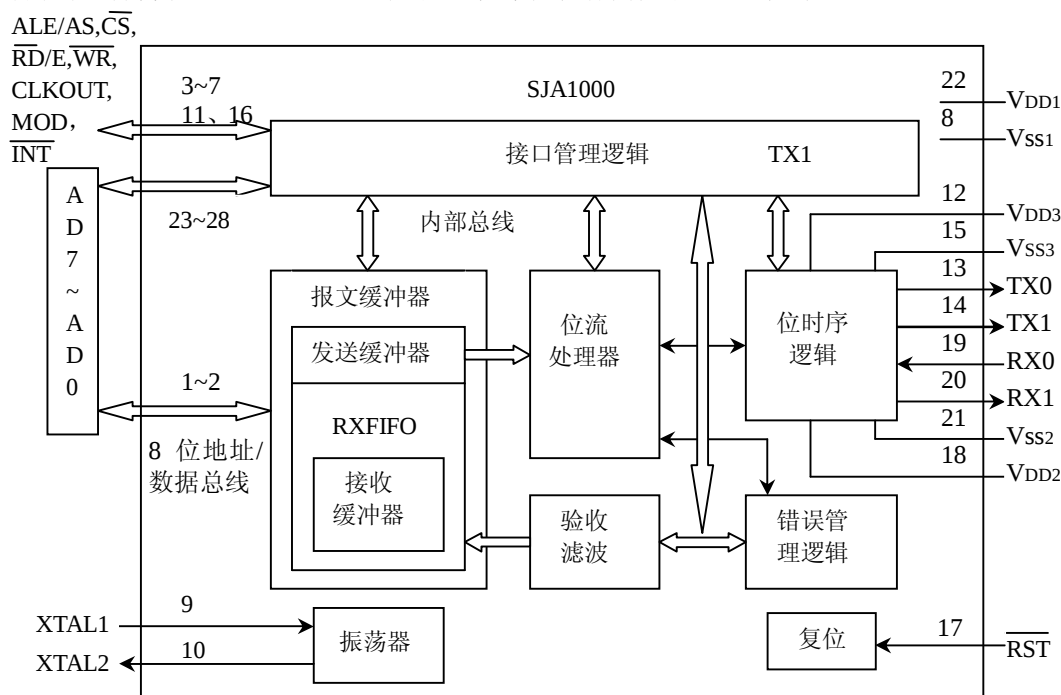


图 3-2 SJA1000 的内部结构方框图
Fig.3-2 The block diagram of SJA1000

(3) CAN 驱动芯片选择

PCA82C250 用于为 CAN 总线提供差动发送和接收功能，其内部的限流电路在输出级与电源、地或负载发生短路时，可以保护输出级不被损坏，但是功耗会增加^[47]。PCA82C250 有三种不同的工作模式可通过引脚 8（Rs）选择，如表 3-1 所示。

表 3-1 引脚 Rs 用法
Tab.3-1 The application of Rs

Rs 提供条件	工作模式	Rs 上的电压或电流
$V_{Rs} > 0.75V_{cc}$	待机模式	$ I_{Rs} < 10\mu A$
$-10\mu A < I_{Rs} < -200\mu A$	斜率控制	$0.3V_{cc} < V_{Rs} < 0.6V_{cc}$
$V_{Rs} < 0.3V_{cc}$	高速模式	$I_{Rs} < -500\mu A$

3.1.2 通信模块抗干扰设计

本文设计的 CAN 接口电路采取了以下措施提高系统的抗干扰能力：

(1) 为了提高 CAN 接口的抗干扰能力，在 CAN 总线控制器 SJA1000 的 TX0 和 RX0 与 CAN 总线驱动器 PCA82C250 的 TXD 和 RXD 之间增加了高速光耦 6N137，这样就很好实现了 CAN 节点与总线之间的电气隔离。另外，采用隔离型 DC/DC 模块向收发电路供电。

(2) PCA82C250 与 CAN 总线的接口部分也要采取了一定的安全和抗干扰措施，PCA82C250 的 CANH 和 CANL 引脚各自通过 1 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 PCA82C250 免受过流的冲击。CANH 和 CANL 与地之间分别并联了 1 个 30pF 的小电容，可以起到滤除总线上的高频干扰和一定的防电磁辐射的作用。

(3) 在实际通信过程中，有两种原因可能导致信号反射，一个原因是阻抗不连续，另一个原因是阻抗不匹配。如果阻抗不连续，信号在传输线末端会突然遇到电缆阻抗很小甚至没有的情况，这种情况下就会引起信号反射。在电缆的末端接入一个与电缆的特性阻抗大小相同的终端电阻，就可以使电缆的阻抗连续，进而消除这种反射。同理，由于信号在电缆上是双向传输的，这就需要在通讯电缆的另一端接入一个大小相同的终端电阻。传输电缆与数据收发器之间阻抗不匹配是引起信号反射的另一个原因。这种原因引起的信号反射，会导致通信线路处于空闲方式时，网络数据混乱^[48]。所以在 CAN 总线的两端分别接入一个 120Ω 的终端电阻，该电阻具有消除通信电缆中的信号反射的作用。

3.1.3 通信模块电路图设计

本文设计的 CAN 接口硬件电路图如图 3-3 所示。在本文设计的系统中，所有的 CAN 接口电路的信号输入端都增加了用于跳线的插针（如图 3-3 所示中的 J100）。当 CAN 节点位于总线的端部而需要连接终端电阻时，就用跳线帽将插针短接，就可以将 120Ω 的终端电阻（如图 3-3 所示中的 R100）接入电路。反之，将跳线帽拔掉，该接口电路就不连接终端电阻。



CAN 通信模块实物图如图 3-4 所示:

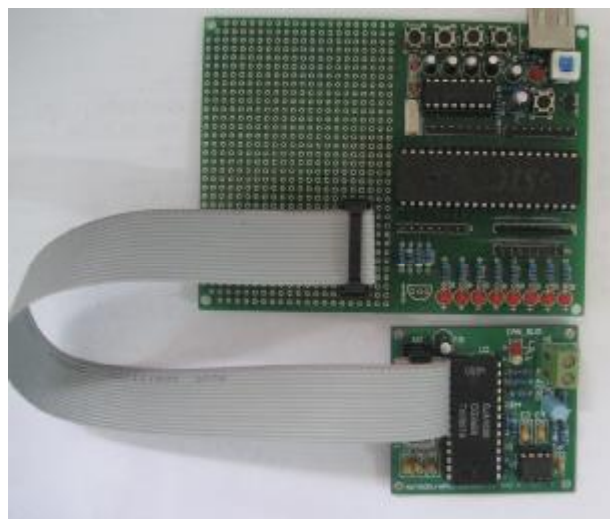


图 3-4 CAN 总线接口实物图

Fig.3-4 The material object photo of CAN bus interface

3.2.1 系统编址

本文设计的大型集中润滑系统的通信协议遵循的是 CAN 2.0B 协议的扩展帧

格式，并且采用的是 SJA1000CAN 控制器，所以，研究 SJA1000 的报文滤波器对扩展帧的识别方式，将有利于提高系统通信的灵活性、实时性与可靠性。

在该系统中，将某一 CAN 节点的地址存放在验收滤波器中。由于验收滤波器的过滤作用，只有标识符与验收滤波器里的预设值相同的帧数据能够被 RXFIFO 接收。SJA1000 的验收滤波器是由验收代码寄存器（ACR_n）和验收屏蔽寄存器（AMR_n）配合组成的，其中验收屏蔽寄存器定义了验收代码寄存器哪些位是参与滤波的，而哪些位是“无关”的，而验收代码寄存器则存放了需要接收信息的标识符的对应值。

在 SJA1000 中，可以通过模式寄存器的 AFM（MOD.3）位值来选择两种不同的滤波模式，当 AFM 位为 1 时，SJA1000 工作于单滤波器模式，反之，当 AFM 位为 0 时，SJA1000 工作于双滤波器模式^[5,49]。

（1）单滤波技术

在 SJA1000 的单滤波器模式下，其内部只有一个滤波器，长度为 4 字节。由于本文设计的系统采用的是扩展帧进行通信，这里就只对扩展帧的过滤进行分析。接收扩展帧信息时的单滤波器配置如图 3-5 所示。

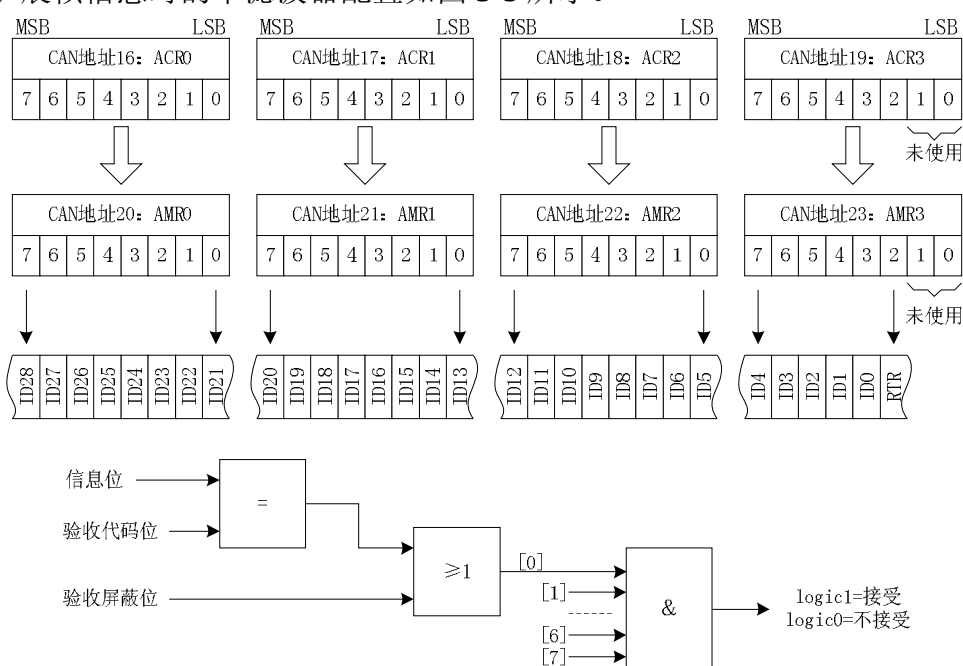


图 3-5 接收扩展帧信息时的单滤波器配置

Fig.3-5 Single filter configuration, receiving extended frame messages

由图可以看出，只有当参与滤波的每个 ACR 位与标识符的对比结果均为“接受”时，才能成功接收该信息。需要注意的是，虽然 ACR3 和 AMR3 的最低两位并未使用，其值并不影响滤波结果，但为了能和将来的产品兼容，应该通过将 AMR3

的最低两位置 1 而设为“无关”。

(2) 双滤波技术

与单滤波器模式不同，在双滤波器模式下，SJA1000 内部配置了两个滤波器，每个滤波器的长度都是 2 字节。接收扩展帧信息的双滤波器配置如图 3-6 所示：

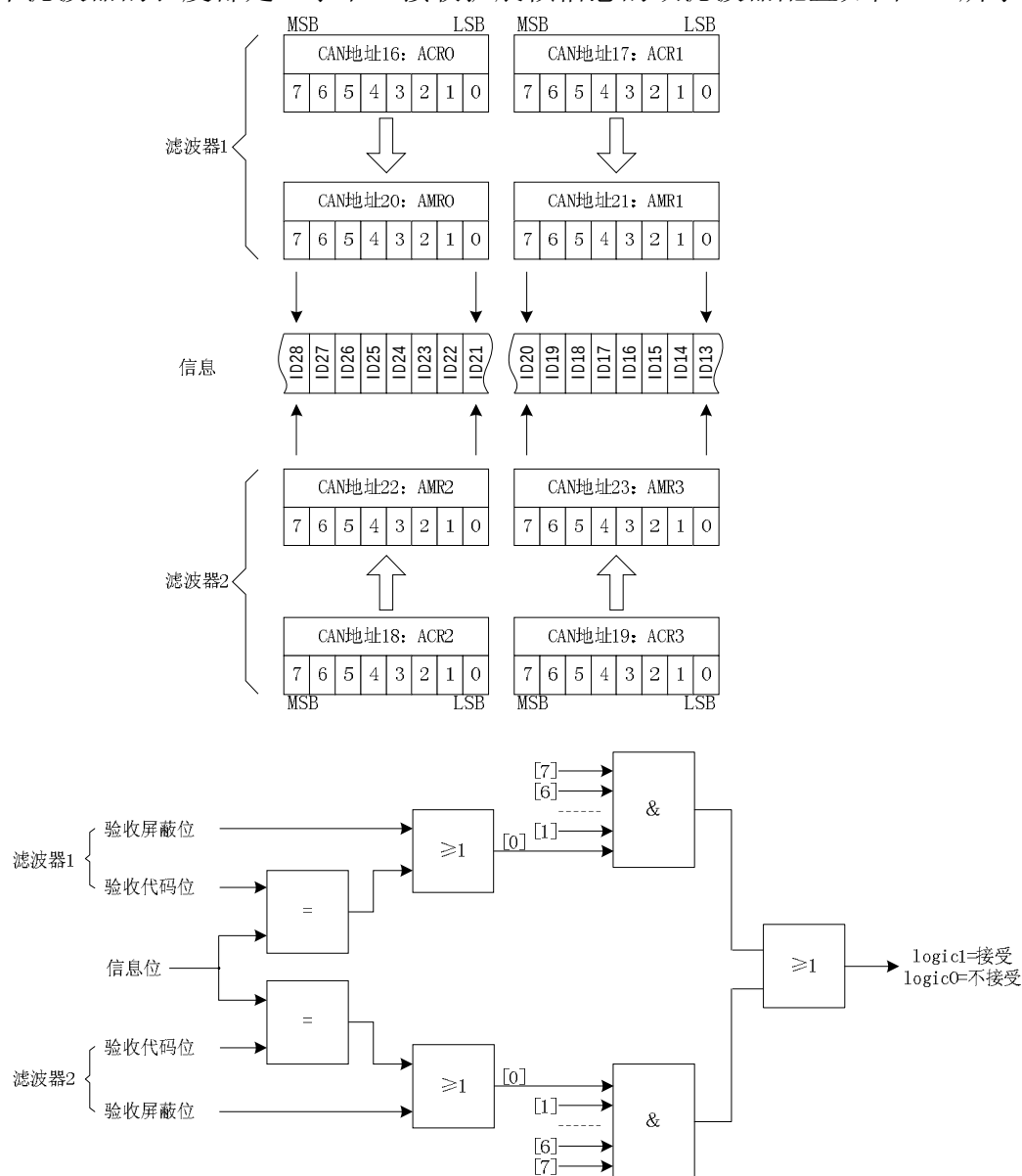


图 3-6 接收扩展帧信息的双滤波器配置

Fig.3-6 Dual filter configuration, receiving extended frame messages

由图可以看出，配置的两个滤波器在结构上是相同的。一个滤波器由寄存器 ACR0、ACR1 和 AMR0、AMR1 组成，另一个滤波器由 ACR2、ACR3 和 AMR2、AMR3 组成。这两个滤波器都只与接收到的扩展帧标识符的前两个字节进行比较，只要其中有一个滤波器对比结果为“接受”，就能够成功接收此数据。

2 大型润滑系统编址

为了便于实现大型集中润滑系统的单播、组播和广播，本文设计系统所有节点都采用双滤波器技术。

在确定采用 CAN 2.0B 协议扩展帧格式进行数据通信和采用双滤波器技术后，如何对网络节点进行标识符的分配，成为网络组建的关键技术之一，其中主要内容就是如何配置四个验收码寄存器（ACR0~ACR3）和四个验收屏蔽寄存器（AMR0~AMR3）。

在参数配置中，重点考虑的一个方面是 29 位标识符的分配，因为标识符是唯一标识该网络设备的类型和在网络中位置的识别码。在本系统中采用扩展帧的双滤波技术，只有标识符的高 16 位参与滤波。则遵循以下原则对系统所有节点进行编址^[50]：

（1）对所有网桥分配 7 位编号：000 0001（B）~111 1111（B），故该网络中可以接入 127 个网桥；

（2）每个网桥所管理的智能节点分配 7 位智能节点编号：000 0001（B）~111 1111（B），故每个网桥可接入 127 个智能节点；

（3）16 位标识符格式为：控制中心单/广播标志+7 位网桥编号+网桥单/组播标志+7 位智能节点编号；

（4）单/广播标志和单/组播标志设置为：1 为广播或组播，0 为单播；

（5）网桥节点只设置 16 位标识符的高 8 位参与滤波，而智能节点则只设置 16 位标识符的低 8 位参与滤波。

根据以上的编址原则，标识符按表 3-2 的形式进行配置。

表 3-2 标识符分配形式
Tab.3-2 The assignment model of identifier

31	30~24	23	22~16	15~3	2~0
ID28	ID27~ID21	ID20	ID19~ID13	ID12~ID0	无定义
控制中心单/广播标识	7 位网桥编号	网桥单/组播标识	7 位智能节点编号	不滤波	

则系统节点的 ACR 和 AMR 的配置分别如表 3-3 和 3-4 所示。

表 3-3 ACR 配置
Tab.3-3 The assignment of ACR

	滤波器 1		滤波器 2	
	ACR0（B）	ACR1（B）	ACR2（B）	ACR3（B）
控制中心	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000
网桥	0+网桥自身编号	0000 0000	1+000 0000	0000 0000
智能节点	0+网桥自身编号	0+智能节点自身编号	1+000 0000	1+000 0000

表 3-4 AMR 配置
Tab.3-4 The assignment of AMR

	滤波器 1		滤波器 2	
	AMR0 (B)	AMR1 (B)	AMR2 (B)	AMR3 (B)
控制中心	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111
网桥	0000 0000	1111 1111	0000 0000	1111 1111
智能节点	1111 1111	0000 0000	1111 1111	0000 0000

在 AMR 中对应位为 1 的 ACR 将不影响滤波。则控制中心可以接收到所有网桥节点的帧数据，而网桥节点能够接收到所有以所管理的智能节点地址为标识符的帧数据和以自身网桥地址为标识符的帧数据。而智能节点只能接收到以自身节点地址为标识符的帧数据。如此，就能保证所有的节点地址唯一，而且上层向下层发送数据时可以根据需要方便的实现单播、组播和广播。系统节点编址如图 3-7 所示。

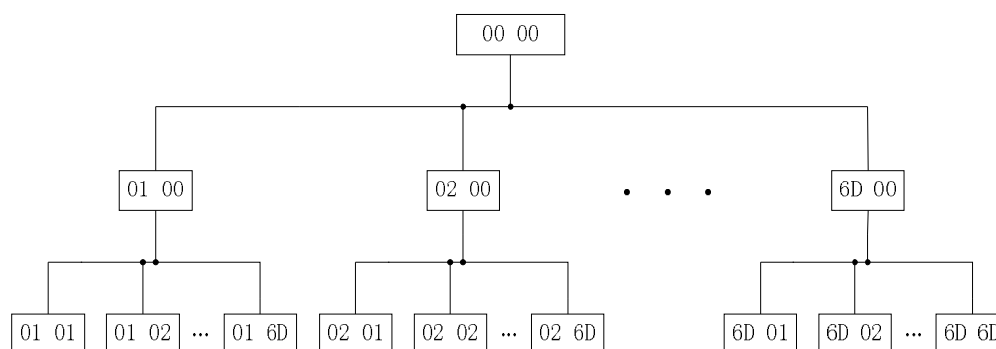


图 3-7 系统节点地址
Fig.3-7 Node addresses

需要注意的是，考虑到 CAN 总线的驱动能力，每个子网中的节点数目不能超过 110 个，则网桥的编号只能为：000 0001 (B) ~110 1101 (B)；每个子网中的智能节点编号也只能为：000 0001 (B) ~110 1101 (B)。

下面将详细说明系统单播、组播和广播的实现过程。

(1) 单播

当控制中心需要实现某个智能节点的单播控制时，控制中心发送的帧数据标识符格式为：

0+目标智能节点所在子网网桥的编号+0+目标智能节点编号 (B)

这样，只有目标智能节点所在子网网桥能够验收通过该帧数据，然后接收到数据的网桥将数据直接按原地址发送到所管理的子网。这时，只有对应的目标智能节点能够验收通过该数据，从而实现了控制中心对智能节点的单播控制。

(2) 组播

当控制中心需要实现某个网桥所管理子网智能节点的组播控制时，控制中心发送的帧数据标识符格式为：

0+目标子网网桥的编号+1+000 0000 (B)

这样，只有目标子网的网桥能够验收通过该帧数据，然后接收到数据的网桥将数据直接发送到所管理的子网。这时，该网桥所管理的子网中所有的智能节点都将接收到该帧数据，从而实现了控制中心对智能节点的组播控制。

(3) 广播

当控制中心需要实现系统所有节点的广播控制时，控制中心发送的帧数据标识符格式为：

1+000 0000+1+000 0000 (B)

这样，所有的网桥节点都能接收到该帧数据。然后网桥将该数据发送到所管理子网时，所有的智能节点也都能验收通过该帧数据，从而实现了控制中心对系统所有智能节点的广播控制。

而当智能节点需要向控制中心发送数据时，只需将自身节点地址做为数据的标识符发送出去，而网桥节点再将数据转发到控制中心就可以了。

另外需要特别说明的是，在本文设计的大型集中润滑系统中，将所有的泵节点地址按下面的原则进行分配：

0+所在子网网桥地址+0+0110 1101 (B)

其中：0110 1101 (B) 表示泵节点所在网桥子网中前 110 个地址的最后一个。这样，系统中所有润滑节点都可以很容易计算出所在子网中泵节点的地址，以方便实时控制通信时的需要。

经过以上编址，系统中每个子网在通信的过程中，节点所采用的标识符都是不一样的，当发生总线竞争时，标识符较小的节点将获得总线的数据发送权。由于上层节点具有更小的地址标识符，所以越上层的节点具有更高的优先级。

3.2.2 系统波特率的设置^[51,52]

在大型集中润滑系统中，波特率的设置直接关系到系统的实时性与可靠性。深入研究 CAN 总线的波特率设置，并选择合适的通讯速率，可以在保证系统实时性的同时兼顾系统的可靠性。

波特率的倒数是位周期，而在 CAN 总线中，是以时间量程为单位来衡量数据传输的位周期的，时间量程也就是 CAN 系统的时钟周期 (t_{SCL})。而通过总线定时

寄存器 0 和总线定时寄存器 1 可以分别设置每一个时间量程的长度以及每一个位周期所包含的时间量程的数量。

总线定时寄存器 0 用来设置每一个时间量程的长度，它包含了波特率预设值（BRP）和同步跳转宽度（SJW）的值。如果需要对该寄存器的值进行设置，需要进入复位模式，而一旦进入 PeliCAN 模式，此寄存器只能读，不能写。总线定时寄存器 0 的各位含义如表 3-5 所示。

表 3-5 总线定时寄存器 0
Tab.3-5 Bit interpretation of bus timing register 0

位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
SJW.1	SJW.0	BRP.5	BRP.4	BRP.3	BRP.2	BRP.1	BRP.0

通过配置 BRP0~BRP5 可以实现 CAN 系统时钟周期 t_{SCL} ，也就是时间量程的设置。其计算公式如下：

$$t_{SCL}=2 \times t_{CLK} \times (32 \times BRP.5 + 16 \times BRP.4 + 8 \times BRP.3 + 4 \times BRP.2 + 2 \times BRP.1 + BRP.0 + 1) \quad (4-1)$$

这里 $t_{CLK}=XTAL$ 的频率，周期= $1/f_{XTAL}$ ，即芯片上所使用的晶振周期。

由于在不同的总线控制器之间的时钟振荡器存在一定的相位偏移，这就要求所有总线控制器在传送相关信号的边沿处必须进行重新同步。总线定时寄存器 0 的同步跳转宽度位（SJW0 和 SJW1）就定义了每一位周期可以被重新同步延长或缩短的时钟周期的最大数目（ t_{SJW} ）。其计算公式如下：

$$t_{SJW}=t_{SCL} \times (2 \times SJW.1 + SJW.0 + 1) \quad (4-2)$$

而每个位周期包含的系统时钟周期（即时间量程）的个数是通过总线定时寄存器 1 来设置的，同时，它也具有设置采样点位置和采样点数目的功能。与总线定时寄存器 0 相同，只有进入复位模式，才能对总线定时寄存器 1 进行设置。总线定时寄存器 1 的各位含义如表 3-6 所示。

表 3-6 总线定时寄存器 1
Tab.3-6 Bit interpretation of bus timing register 1

位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
SAM	TSEG2.2	TSEG2.1	TSEG2.0	TSEG1.3	TSEG1.2	TSEG1.1	TSEG1.0

总线在一个位周期内采样的次数是通过总线定时寄存器 1 的最高位 SAM 进行设置的。当总线通信速率为中低速时，建议将 SAM 设置为“1”，这时总线一个位周期采样 3 次，这样有利于过滤总线上的毛刺波；而对于高速通信的 CAN 总线，建议将 SAM 设置为“0”，这时总线一个位周期采样 1 次。

CAN 总线每个位周期包含系统时钟周期的个数以及采样点的位置，则由 TSEG1.0~TSEG1.3 和 TSEG2.0~TSEG2.2 决定。其中 TSEG1.0~TSEG1.3 决定了时间段 1 (TSEG1) 的长度，而 TSEG2.0~TSEG2.2 决定了时间段 2 (TSEG2) 的长度，其计算方法分别如公式 4-3 和 4-4 所示。

$$t_{TSEG1} = t_{SCL} \times (8 \times TSEG1.3 + 4 \times TSEG1.2 + 2 \times TSEG1.1 + TSEG1.0 + 1) \quad (4-3)$$

$$t_{TSEG2} = t_{SCL} \times (4 \times TSEG2.2 + 2 \times TSEG2.1 + TSEG2.0 + 1) \quad (4-4)$$

最终，一个位周期 T 就是同步段的宽度与时间段 1 和时间段 2 的宽度的累积，如公式 4-5 所示。

$$T = t_{SYNCSEG} + t_{TSEG1} + t_{TSEG2} \quad (4-5)$$

其中： $t_{SYNCSEG} = 1 \times t_{SCL}$

图 3-8 所示为一个位周期的结构^[53]。

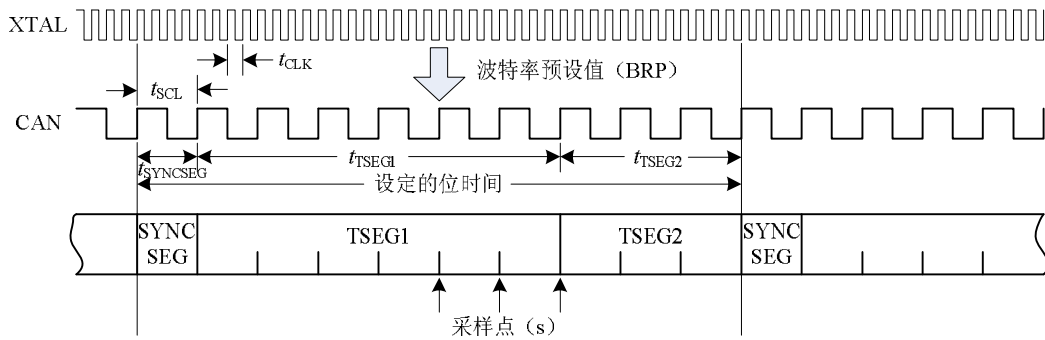


图 3-8 一个位周期的结构
Fig.3-8 The structure of a bit period

在该图中，一个系统的时间周期 (t_{SCL}) 包含了 4 个晶振周期 (t_{CLK})，而同步跳转宽度为一个系统时钟周期，由此，可以确定总线定时寄存器 0 应设置为 01H。在该示例中，每个位周期采样 3 次，另外时间段 1 包含 6 个系统时间周期，即： $t_{TSEG1} = 6 \times t_{SCL}$ ，时间段 2 包含 3 个系统时间周期，即： $t_{TSEG2} = 3 \times t_{SCL}$ ，由此，可以确定总线定时寄存器 1 应设置为 A5H。假设该系统中 CAN 总线控制采用的是 16MHz 的晶振，则一个系统时间周期的计算如公式 4-6 所示：

$$t_{SCL} = 4 \times 1 / 16 = 0.25 \mu s \quad (4-6)$$

则该示例中的总线位周期计算如公式 4-7 所示：

$$T = (1 + 6 + 3) \times t_{SCL} = 2.5 \mu s \quad (4-7)$$

由此，计算得出总线的波特率为 400Kb/s。

表 3-7 所示为在不同通信波特率下，总线数据传输距离情况比较^[54]。

表 3-7 位速率与总线数据传输长度的关系
Tab.3-7 The relation of the bit rate and the data transmission distance on the bus

波特率 (Kb/s)	10	20	50	125	250	500	1000
总线长度 (m)	6700	3300	1300	530	270	130	40

由于在本文设计的大型集中润滑系统中，网桥节点被考虑安置于不同的车间实现该车间内一组润滑节点的统一控制，所以网桥节点的分布往往会较为分散，网桥与控制中心间的距离会较远，而智能节点和智能节点及网桥节点间的通信相对比较频繁，而且同一子网的网桥节点和智能节点在同一厂房，分布较为集中，通信距离较近。所以控制中心与网桥间的波特率选择为 20Kb/s，可以实现 3300m 的通信距离。而网桥节点与智能节点的波特率选择为 250Kb/s，可以实现 270m 的通信距离。当该系统应用在不同的场合，可以根据需要，适当地改变波特率的设置，以实现在保证可靠性的前提下，提高系统的实时性。

4 大型集中润滑系统节点硬件设计

大型集中润滑系统硬件主要由以下几部分组成：控制中心 PC 机、CAN-RS232 转换器、网桥节点、润滑节点和泵节点。其中控制中心的 PC 机可以选购市场上的普通台式机，最好选择有 RS-232 串口的电脑，否则需要购买 USB 转串口接头。本文重点设计了系统中的其他部分的硬件。

4.1 CAN-RS232 转换器硬件设计

CAN-RS232 转换器实现计算机串口与网桥之间的数据通信。它由两部分组成，一部分是 CAN 接口电路，另一部分是 RS-232 通信电路^[55]。

4.1.1 RS-232 通信模块设计

RS-232 通信模块用于实现 STC10F04XE 与计算机之间的串口通信。本文选用的是由美信公司推出的 MAX232 芯片实现 TTL/RS-232 电平协议的转换。在设计 RS-232 通信模块时，需要在 MAX232 芯片的外围需要接四个电解电容，它们是内部电源转换所需的电容，其取值均为 $1\mu\text{F}/25\text{V}$ ，选用钽电容，在 PCB 设计中，应将这些电容的位置尽量布置在靠近芯片的地方，另外在电源 VCC 和 GND 之间需要接一个 $1\mu\text{F}$ 的去耦电容。RS-232 通信模块原理图如图 4-1 所示：

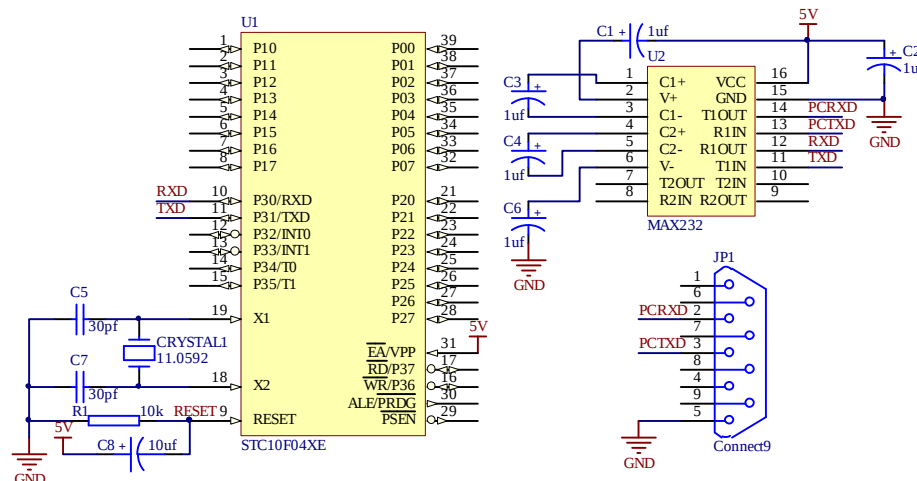


图 4-1 RS-232 通信模块电路图

Fig.4-1 The circuit diagram of RS-232 communication module

4.1.2 CAN-RS232 转换器原理图

CAN-RS232 转换器原理图见附录 1。

4.2 网桥节点硬件设计

网桥需要实现控制中心与润滑节点间的通信和控制，所以需要两个 CAN 总线

驱动电路。其中一路 CAN 总线用于与控制中心的通信，而另一路 CAN 总线用于与润滑节点的通信，这样上层网络和下层网络就相互独立，互不干扰。

网桥节点的原理图见附录 2。

需要注意的是在程序设计时，将这两个 CAN 控制器地址视为一个 CAN 节点，即将两个 SJA1000 的 ACR 和 AMR 按照编址的原则设置为相同的，这样便于系统结构的理解与程序的设计，只是在与控制中心通信时，使用 CAN 驱动器 0，而与智能节点通信时，使用 CAN 驱动器 1。

4.3 润滑节点硬件设计

在该系统中，润滑节点要求能够与泵节点配合完成润滑给油过程，而且能够检测现场的工作情况。所以，润滑节点硬件电路要求具有电磁给油阀驱动功能，流量、压力、温度检测功能，还要能够通过数码管显示出工作情况。另外，润滑节点还要求有 4 个按键，以方便工作人员在现场能够对润滑节点进行设置。

4.3.1 流量检测模块设计

全国科学技术名词审定委员会把流量计定义为：指示被测流量和（或）在选定的时间间隔内流体总量的仪表。简单来说，流量计就是用于测量管道或明渠中流体流量的一种仪表。流量计的分类有转子流量计、细缝流量计、节流式流量计、电磁流量计、容积流量计、超声波流量计和堰等。

在本文设计的大型集中润滑系统中，采用容积式流量计实现给油量的计量。容积式流量计又可称为定排量流量计，它是流量仪表中计量精度相对最高的一类。在容积式流量计内部由流量计的转动部分和仪表壳的内壁构造了一个具有标准体积的空间，这个标准体积空间称为“计量室”，容积式流量计就是通过反复的计量这个“计量室”来实现流体体积的测量的。

当流体经过流量计时，流量计的转子部分在入口处和出口处的压力差作用下发生旋转，并将流体以“计量室”为单位一次一次排出。同时，转子的转动带动了编码器的旋转，从而把流体的流动过程转化为与流速成正比的脉冲频率输出。

将流量计的脉冲输出信号线通过上拉电阻接入单片机的 I/O 口，就可以实现单片机对流量计编码器的脉冲输出个数的采集，就可以计算出转子的旋转圈数，进而计算出排出“计量室”的个数，并最终计算出流体流过的体积^[56,57]。

4.3.2 压力检测模块设计

油压压力传感器是一种常见的压力变送器，并且已经广泛应用于各种工业测

控系统中, 涉及到生产自控、铁路交通、航空航天、水利水电、智能建筑、石油管道、船舶、油井、军工、石化、机床、电力、锅炉负压、管道送风等众多行业。它具有安装方便, 使用寿命长等特点。油压压力传感器的工作原理是当有压力作用于压力传感器的膜片上时, 膜片就会产生与压力成正比的微小位移, 从而使传感器的电阻发生变化, 采用一定的电子线路检测这个电阻变化并最终将其转换成与压力大小相对应的标准信号输出^[58]。常见的输出信号有以下几种: 4~20mA、0~5V、1~5V、0~10V^[59]。

在本文设计的大型集中润滑系统中, 采用 0~5V 标准信号输出的油压压力传感器实现给油管道压力的检测。压力传感器输出的标准 0~5V 电压信号可经过 ADC0804 转换后输入到 MCU, 从而实现压力的检测。压力检测模块的原理图如图 4-2 所示:

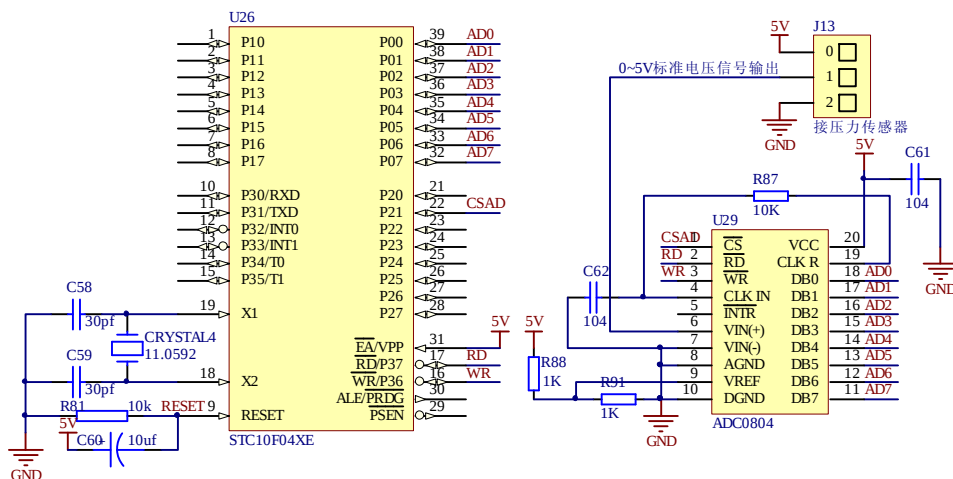


图 4-2 压力检测模块电路图

Fig.4-2 The circuit diagram of pressure monitoring module

4.3.3 温度检测模块设计

本文设计的大型集中润滑系统温度的采集选用美国 DALLAS 半导体公司生产的数字式温度传感器 DS18B20 实现, 它传统的基于热敏电阻的温度采集方案相比, 具有功耗低、体积小、抗干扰能力强、易与微处理器结合等优点, 非常适合于构建需要实现多点温度采集的系统^[60]。DS18B20 的内部结构和测温原理分别如图 4-3、4-4 所示^[61]。

在 DS18B20 内部, 减法计数器 1 用于采集几乎不受温度影响的低温度系数振荡器产生的脉冲信号, 该脉冲信号具有固定的频率。而减法计数器 2 则用于采集容易受温度影响的高温度系数振荡器产生的脉冲信号, 该脉冲信号的变化与温度的变化相关。

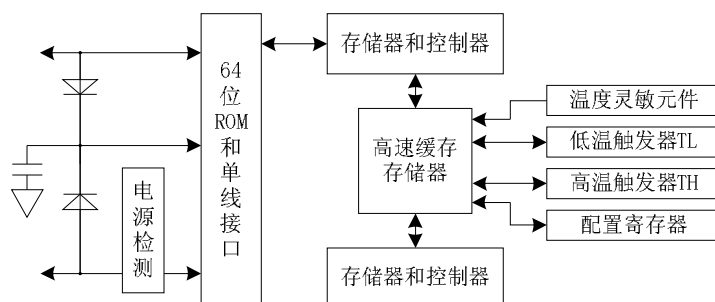


图 4-3 DS18B20 的内部结构框图

Fig.4-3 DS18B20 block diagram

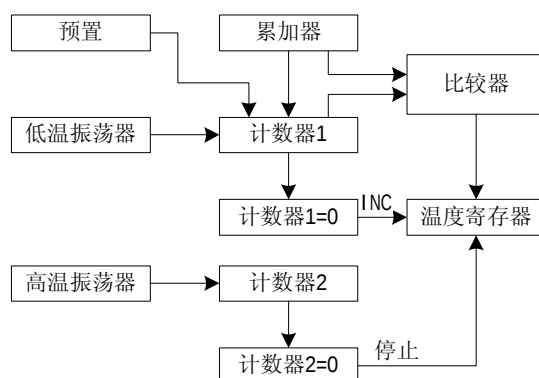


图 4-4 DS18B20 的测温原理图

Fig.4-4 The principle diagram of temperature measurement

DS18B20 会在计数门打开后，对低温度系数振荡器产生的脉冲进行计数，而高温系数振荡器决定了计数门开启时间的长短。测量前，DS18B20 先将 -55°C 所对应的基数分别放入温度寄存器和计数器 1，作为预设值，计数器 1 在计数门打开后对低温系数振荡器产生的脉冲信号进行减法计数，当计数器 1 的预设值减为 0 时，温度寄存器的值加 1，而计数器 1 被重载预设值，并继续对脉冲进行计数，如此反复直到计数器 2 的计数为 0，即计数门关闭，这时温度寄存器中的数值就是所要测量的温度值。DS18B20 内部的斜率累加器的输出被用来修正减法计数器的预设值，进而修正和补偿测温过程中的非线性问题。

DS18B20 与单片机的连接极为简单，只需将其信号输出端经 10K 的上拉电阻接入单片机 I/O 引脚，就可以实现单片机对温度的采集。

4.3.4 现场人机交互接口设计

为了方便工人在现场对润滑节点进行监视和设置，本系统在润滑节点硬件中设计了由 8 位数码管、4 个轻触按键和 5 个报警指示灯组成的人机交互接口。其中 8 位数码管采用 CH451 驱动显示，而 4 个按键采用独立按键的方式接入单片机。

CH451 是由南京沁恒电子有限公司生产的一款整合了键盘扫描控制和数码管

显示驱动以及 μP 监控的多功能外围芯片。CH451 内置有 RC 振荡电路，可以动态驱动 64 只 LED 发光管或者 8 位数码管，并且具有移位、闪烁和 BCD 译码等功能；另外 CH451 还可以进行 64 键的矩阵键盘扫描；CH451 内部集成了看门狗和上电复位等功能；CH451 可以通过级联的串行接口实现与单片机的数据交换^[62]。本文选择 CH451 实现润滑节点的 8 位数码管显示驱动功能，用于显示现场信息。

润滑节点的人机交互接口电路如图 4-5 所示：

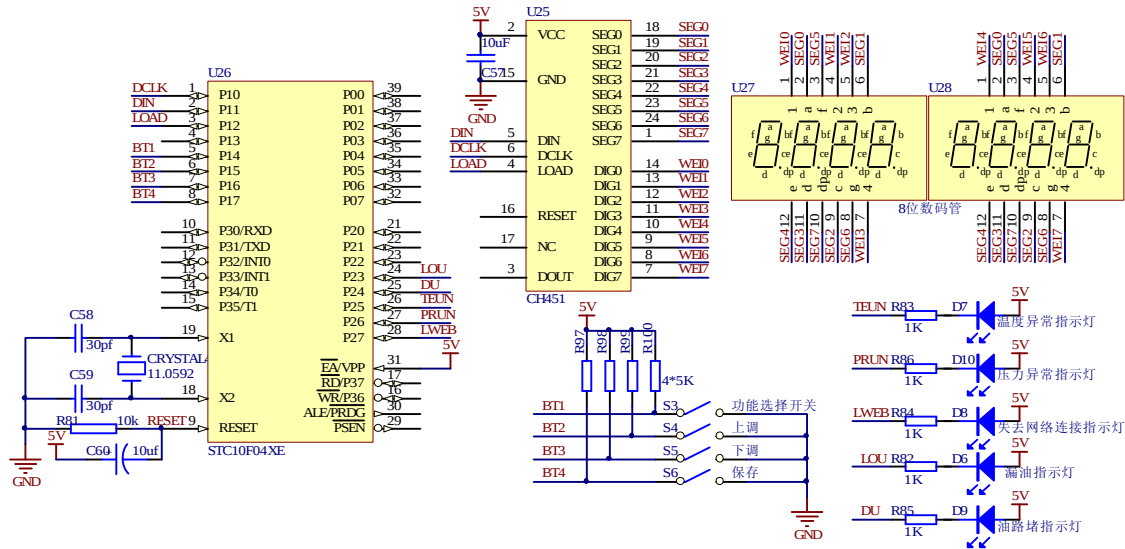


图 4-5 现场人机交互接口电路图

Fig.4-5 The circuit diagram of human-computer interface

4.3.5 润滑节点电路图

润滑节点的电路图见附录 3。

4.4 泵节点硬件设计

泵节点需要实现对给油泵的开启和关闭的控制，同时也需要对现场工作情况进行监控。所以，泵节点同润滑节点相似，都有流量、温度、压力检测等功能，但多出了泵机转速检测的功能需要，以确定泵机是否正常工作。其中流量、压力、温度的检测方式与润滑节点相同。

4.4.1 油泵转速检测模块设计

转速检测常用的方法有编码器检测和霍尔元件检测等方法。霍尔传感器具有体积小，寿命长，耐震动，结构牢固，重量轻，功耗小，安装方便，频率高，不怕水汽、油污、灰尘等的污染或腐蚀，工作温度范围很宽等许多优点。并且已经广泛应用于塑料、造纸、电扇、电机、洗衣机、化纤、汽车、轮船、飞机等制造业中^[63]。因此，本文选择采用霍尔传感器检测油泵的转速。

在本文设计的泵节点中，选用霍尔传感器型号为 AH173，其内部电路框图如图 4-6 所示^[64]。

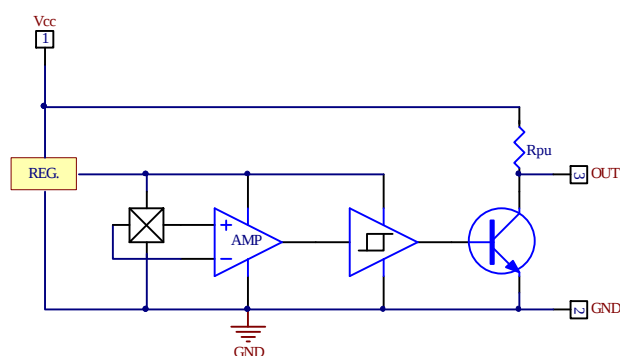


图 4-6 AH173 内部结构框图
Fig.4-6 AH173 block diagram

AH173 内部包含了霍尔电源 REG、霍尔元件 H、施密特触发器 C、放大器 AMP 输出电路等。其中霍尔元件 H 具有把磁场强度的强度大小转换成电压大小并输出的功能；放大器 AMP 实现两个功能，一个是放大霍尔元件输出的小电压信号，以使其电压强度满足施密特触发器的要求，另一个是将双端输入的差动信号转变成单端的输出信号；施密特触发器 C 的功能是对输入的模拟信号整形，以实现脉冲形式信号的输出。将脉冲输出引脚 3 直接接入单片机的 I/O 口，就可以实现单片机对油泵转动的检测。

在本文设计的大型集中润滑系统中，为了提高泵机转速检测的精度，在被测泵机的转盘上安装了 6 个磁性体，这样，泵机每转一周，就会产生 6 个脉冲输出。但是需要注意的是，这些磁性体的 N 极磁极必须朝向 AH173 的正面，这样才能顺利产生与泵机转速成正比的脉冲频率信号。

4.4.2 泵节点电路图

泵节点的电路图见附录 4。

5 大型集中润滑软件系统设计

5.1 系统通信协议设计

5.1.1 系统通信流程

为了保证数据传输的可靠性，必须在应用层建立端与端之间的差错控制，即在每次通信中的发送机与接收机之间建立差错控制^[34]。下面以一对节点间的数据数据请求与控制通信为例来说明这个机制。两个节点间的通信过程如图 5-1 所示。

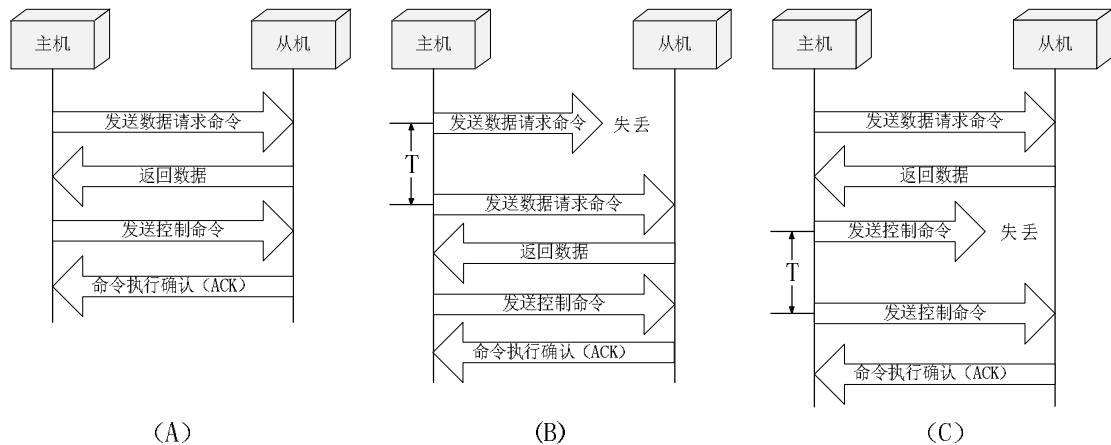


图 5-1 两个节点间的通信过程
Fig.5-1 The communication between two nodes

图 5-1 (A) 所示为在正常情况下一对节点间的数据请求与控制实现的通信过程。当主机需要获得从机的某个数据时，就发送一个数据请求命令到从机，从机接收到这个数据请求命令后，就将数据结果返回给主机。主机接收到这个想要的的数据后对其进行分析，并根据分析结果发送控制命令，从机接收到命令后还需要向主机发送命令执行确认信息 (ACK)。这样，一次正常的控制过程才算完成。这里需要特别强调的一点是，在从机接收到主机的控制命令后，这时虽然没有需要返回的数据，但为了确认控制命令正常接收到，就必须返回一个确认信息 (ACK)。虽然这样表面上看是多了一次通信，但这更符合网络通信的一般原理，是有利于保证系统数据通信的可靠性以及通信协议的一致性和兼容性。

图 5-1 (B) 和 (C) 所示为有数据在通信过程中丢失的两种情况。在图 5-1 (B) 中，主机发送的数据请求命令在传输过程中丢失，在这种情况下，主机会等待一个重发时间（重发时间依据系统总路线速度和从机数据目等因素确定，在本系统中设定为 3s），如果一个重发时间后仍未收到从机的返回数据，就重发先前的数据请求命令。系统设定最多重发 3 次，当重发 3 次仍无法收到从机的返回数据时，则说明失去该节点的链接，并显示相应的提示信息。若收到了从机的回应数据时，

后面的处理过程与图 A 相同。

在图 5-1 (C) 中, 主机发送的数据请求命令与从机发送回应数据都正常进行, 但在发送主机控制命令过程中, 数据丢失, 从机无法执行相应的控制。主机在重发时间内未收到已接收控制命令的确认信息 (ACK) 时, 重发控制命令。关于重发的处理与图 5-1 (B) 处理方法相同。

在本系统中, 由于 CAN 节点是多主通信方式, 则在每次完整的数据通信过程中, 都将主动发送数据的节点视为主机, 而被动接收数据的节点视为从机。它们之间的通信也采用这种具有差错控制的通信流程, 以提高系统的可靠性。

5.1.2 系统通信命令设计

本文采用 CAN2.0B 协议的扩展帧信息格式。扩展帧信息为 13 字节, 包括信息部分和数据部分。前 5 字节为信息部分, 后 8 字节为数据部分。本文通信协议采用 “ID+命令+数据” 的形式。如表 5-1 所示。

表 5-1 帧信息含义
Tab.5-1 Frame meaning

	7	6	5	4	3	2	1	0
字节 1	0	RTR	X	X	DLC			
字节 2	ID.28~ID.21（目标地址高 8 位）							
字节 3	ID.20~ID.13（目标地址低 8 位）							
字节 4	ID.15~ID.5（无效标识符）							
字节 5	ID.4~ID.0（无效标识符）				X	X	X	X
字节 6	数据 1（命令）							
字节 7	数据 2（参数 1）							
字节 8	数据 3（参数 2）							
字节 9	数据 4（参数 3）							
字节 10	数据 5（参数 4）							
字节 11	数据 6（参数 5）							
字节 12	数据 7（参数 6）							
字节 13	数据 8（参数 7）							

由于双滤波模式下的两个滤波器都只比较扩展标识符的前两个字节 (ID28~ID13), 故将发送的扩展帧的第 2 字节配置为目标节点地址的高 8 位, 第 3 字节配置为目标节点地址的低 8 位。将扩展帧的第 6 字节数据 1 配置为命令字节。第 7~13 字节配置为命令参数 1~7。CAN 总线本身具有 15 位 CRC 校验, 其校验强度完全可以满足本系统对通信可靠性的要求。通信过程中的数据全部采用 ASCII 码方式传送。

需要说明的是, 本文只将扩展帧的第 6 字节数据 1 配置为命令字节, 则共可

设计 256 种命令，完全可以满足大型集中润滑系统的通信要求。根据命令的功能不同，可将该系统的命令分为以下几种类型：工作参数配置相关命令、网络配置相关命令、检测相关命令、实时控制通信相关命令和一些其它辅助命令。为了方便以后系统的扩展，将这五类命令分配在 256 字节的五个段里，如表 5-2 所示。

表 5-2 命令分配
Tab.5-2 The distribution of commands

命令类型	工作参数配置相关命令	网络配置相关命令	检测相关命令	实时控制通信相关命令	其它辅助命令	备用
命令所在段 (H)	00~1D	1E~3B	3C~59	5A~95	96~B3	B4~FF

下面将对网络通信协议中用到的命令做具体说明。

1 工作参数配置相关命令

(1) 润滑参数配置命令

润滑参数配置命令用于配置润滑节点润滑的量和时间间隔。其格式如表 5-3 所示。

表 5-3 润滑参数配置命令
Tab.5-3 Configure lubricating parameters command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	00H	PUL	INVH	INVM	INVS	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 分别为需要配置参数的润滑节点的地址，ADRH 为地址的高八位，ADRL 为地址的低八位。

字节 6 (00H) 为命令的编号。

字节 7 (PUL) 为设置的节点每次润滑的量，以脉冲数计量。

字节 8、9、10 (INVH、INVM、INVS) 为设置的节点每两次润滑的间隔，三字节分别为参数的小时、分钟、秒。

在以下情况下需要使用检测命令：

- ① 在系统安装调试时，或更换某个节点时，需要对节点的润滑参数配置；
- ② 系统正常运行后，当需要改变某个节点的工作参数时，可通过该命令实现。

说明：

该命令中的字节 2、3 (ADRH、ADRL) 是根据帧数据的单播、组播或广播的形式而设置的。当控制中心使用该命令配置某个特定节点的参数时，则第 2、3 字节为该智能节点的地址：

0+目标智能节点所在子网网桥的编号+0+目标节点编号 (B)

而当控制中心使用该命令配置某个网桥所管理的一组智能节点参数时，则第 2、3 字节为该网桥节点的组播地址：

0+目标子网网桥的编号+1+000 0000 (B)

而当控制中心使用该命令配置系统所有智能节点的参数时，则第 2、3 字节为网络的广播地址：

1+000 0000+1+000 0000 (B)

在下面介绍的所有命令中，如未做特别说明，系统对命令的第 2、3 字节标识符的配置与润滑参数配置命令是相同的，同样可以灵活实现该命令的单播、组播与广播。

(2) 工作模式设置命令

工作模式设置命令用于设置智能节点的工作模式。其格式如表 5-4 所示。

表 5-4 工作模式配置命令
Tab.5-4 Configure working mode command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	01H	TARH	TARL	MOD	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 分别为需要设置工作模式的润滑节点的地址，ADRH 为地址的高八位，ADRL 为地址的低八位。

字节 6 (01H) 为工作模式设置命令的编号。

字节 7、8 (TARH、TARL) 为需要设置工作模式的节点地址。

字节 9 (MOD) 为设置的节点的工作模式，该参数数值的意义如表 5-5 所示。

表 5-5 MOD 含义
Tab.5-5 The meaning of MOD

MOD 值	00	01
含义	节点自动控制	节点非自动控制

在以下情况下需要使用工作模式设置命令：

- ① 在系统安装调试时，或更换某个节点时，需要对节点的工作模式设置；
- ② 系统正常运行后，在某些情况下（如某个节点偶然润滑不足，需要临时加油润滑时）需要改变某个节点的工作模式时，可通过该命令实现。

说明：

当润滑节点工作在自动控制模式时，它会根据设置好的润滑量和时间间隔协调泵机的转动与电磁给油阀的打开与关闭；当润滑节点工作在非自动控制模式时，

将由控制中心或现场按键通知节点开始润滑和停止润滑。该命令是远程设置节点的工作模式时所使用的，节点的工作模式还可以在工业现场通过按键设置。

(3) 报警参数设置命令

报警参数设置命令用于设置节点的报警参数，该系统主要需要设置的报警参数为节点工作的温度上限和压力上/下限。其格式如表 5-6 所示。

表 5-6 报警参数配置命令
Tab.5-6 Configure alarm parameters command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	02H	TEM	PREU	PRED	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2, 3 (ADRH、ADRL) 分别为设置报警参数的智能节点的地址，ADRH 为地址的高八位，ADRL 为地址的低八位。

字节 6 (02H) 为命令的编号。

字节 7 (TEM) 为设置的节点的工作温度的上限，当节点温度超过这个上限时，就发出报警。

字节 8、9 (PREU、PRED) 分别为设置的节点检测的压力的上限和下限。这两个参数是节点判断给油管道发生堵或漏的标准。当检测到的给油管道压力大于设定的压力上限时，则说明管道发生堵，当压力小于设定的压力下限时，则说明管道发生漏油。

在以下情况下需要使用检测命令：

- ① 在系统安装调试时，或更换某个节点时，需要对节点的报警参数进行配置；
- ② 系统正常运行后，在某些情况下（如某个节点工作条件发生变化时）需要改变某个节点报警参数时，可通过该命令实现。

2 网络配置相关命令

(1) 请求分配地址命令

请求分配地址命令是未分配地址的节点向上层节点发送的，用于网络的动态组建的命令。其格式如表 5-7 所示。

表 5-7 请求分配地址命令
Tab.5-7 Asking for assignment of address command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	1EH	NOD	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为上层接收节点的地址。

字节 6 (1EH) 为命令的编号。

字节 7 (NOD) 为节点的类型，参数意义如表 5-8 所示。

表 5-8 NOD 含义
Tab.5-8 The meaning of NOD

NOD 值	00	01	02
含义	网桥节点	润滑节点	泵节点

当网络中新增加一个节点的时候，那么该节点会向上层网络节点发送请求分配地址命令，要求上层控制节点给该节点分配一个地址。

说明：

请求分配地址命令是新接入的节点向上层节点发送的命令。当请求分配地址的节点为智能节点时，为了保证不管该新接入的节点在哪里，其上层控制节点都能验收通过其发送的命令，则设置数据帧的标识符，即命令的第 2、3 字节 (ADRH、ADRL) 为 8000 (H)，这样所有的网桥节点的验收滤波器 2 都可验收通过该命令。而如果请求分配地址的节点为网桥节点，则设置数据帧的标识符，即命令的第 2、3 字节 (ADRH、ADRL) 为 0000 (H)，这样只有控制中心就能验收通过该命令，而其他网桥节点不能验收通过该命令。

另外需要注意的是，当新接入的节点位于所接入 CAN 总线的端部时，则需要将被替代的原先为端部的 CAN 节点的 120Ω 的终端电阻断开，而将新接入的节点的 120Ω 终端电阻接入。

(2) 分配地址命令

分配地址命令是网络用于给请求分配地址发送分配的地址的命令。其格式如表 5-9 所示。

表 5-9 分配地址命令
Tab.5-9 Assign address command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	1FH	ASAH	ASAL	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为 FFFF (H)。

字节 6 (1FH) 为命令的编号。

字节 7、8 (ASAH、ASAL) 为分配的地址，其中 ASAH 为地址的高八位，ASAL 为分配的地址的低八位。

当控制中心或网桥节点接收到请求分配地址命令时，则会根据请求分配地址命令的 NOD 位，判断节点的类型并分配相应的地址。

说明：

该系统中，设置所有新加入的节点的地址默认为 FFFF (H)，则上层节点只需将分配的地址信息整合到发送到标识符为 FFFF (H) 的节点就可以实现新接入的节点的地址分配了。故分配地址命令的第 2、3 字节 (ADRH、ADRL) 都设置为 FFFF (H)，这样，请求分配地址命令与分配地址命令相结合，可以方便的实现系统的动态组建与节点的动态增加。

(3) 节点去除命令

当需要去除网络中的某个节点时，可通过控制中心会向该节点发送节点去除命令，同时控制中心或网桥会回收需要去除节点的地址。其格式如表 5-10 所示。

表 5-10 节点去除命令
Tab.5-10 Nod removing command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	20H	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为需要去除的节点的地址。

字节 6 (20H) 为命令的编号。

说明：

当字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为某个智能节点的地址，即当某个智能节点接收到自身被去除的节点去除命令后，该节点就停止工作，并指示该节点已停止工作，这时工作人员可将该节点取下。而如果字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为某个网桥节点的地址，即需要去除的是网桥节点，则该网桥会向自身控制子网中连接的所有智能节点广播节点去除命令，这些智能节点的地址也将同时被回收。

另外在该系统中，节点去除命令是不需要应答的，故该命令可用来回收失去连接的节点的地址。当系统监测到某个节点失去连接时，如果该节点已无用，可从控制中心发送该节点的节点去除命令，同时回收该节点的地址。

(4) 节点去除请求命令

节点去除请求命令是为了方便工作人员在现场操作实现某个节点的动态去除而设计的命令。其格式如表 5-11 所示。

表 5-11 节点地址回收命令
Tab.5-11 Recycle nod address command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	21H	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）为请求去除的节点地址。

字节 6（21H）为命令的编号。

说明：

节点去除请求命令不同于节点去除命令，节点去除命令是控制中心主动要求下层某个节点去除，而节点去除请求命令是下层节点向控制中心发送节点去除请求命令，然后控制中心再向该节点发送节点去除命令，同时回收该节点的地址。

工作人员在现场通过按键与数码管显示的形式选择该命令，并向控制中心发送该命令。控制中心收到该命令后，通过字节 2、3（ADRH、ADRL）可以判断出请求去除的节点的地址，当允许该节点去除时，就会向该节点发送节点去除命令，现场节点接收到节点去除命令后就可将该节点取下。当然，也可以通过控制中心设置系统中比较重要的节点为不可去除的，如在网桥节点控制的子网中，如果还有润滑节点在工作，泵节点就是不可去除的，因为如果泵节点被去除了就不能实现该子网中的其他润滑节点的正常给油润滑了。在本系统中，网桥节点是不能发送节点去除请求命令的，如果需要通过去除网桥节点实现一组智能节点的快速去除，只能通过控制中心向该网桥节点发送节点去除命令。

另外需要注意的是如果被去除的节点为所在子网的端部时，那么当该节点去除后，需要将新的位于端部的节点的 120Ω 终端电阻接上。

3 检测相关命令

检测过程由发送检测命令和检测结果返回命令实现。

（1）检测命令

检测命令是由控制中心发出的，用于测试网络中所有节点或者某个节点是否正常连接到网络以及是否正常工作的命令。网桥接收到检测命令后，将负责起所控制的子网的所有智能节点的检测工作。检测命令的数据格式如表 5-12 所示。

表 5-12 检测命令
Tab.5-12 Testing command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	3CH	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）分别为需要检测的节点的地址，ADRH 为地址的高八位，ADRL 为地址的低八位。

字节 6（3CH）为命令的编号。

在以下情况下需要使用检测命令：

① 在系统开机的时候，控制中心会向所有节点发送检测命令，这个过程称为开机巡检；

② 系统正常运行后，控制中心会按照设定好的时间间隔定时的发送检测命令，这个过程称为定时巡检；

③ 在某些情况下（如系统安装调试时，或更换某个节点时），管理人员需要临时检测某个节点或者全部节点的运行情况，这时可以在控制中心刷新某个节点或者全部节点的数据，这时控制中心会向该节点或全部节点发送检测命令。

说明：

当字节 2、3（ADRH、ADRL）为某个具体智能节点的地址，则说明控制中心只是进行单点检测，网桥会将该帧数据转发到需要检测的智能节点。而如果字节 2、3 为网桥节点的地址，则说明控制中心需要该组网桥进入巡检，网桥节点就会向所管理子网中的全部智能节点广播检测命令。如果字节 2、3 为网桥节点的组播地址，则说明系统是需要进行全部巡检，则每个网桥节点都会向所管理子网广播检测命令。系统大多情况下还是会以广播的形式进行全部节点的巡检，以保证系统的实时性与可靠性。

（2）检测结果返回命令

有检测命令，自然需要结果返回。检测结果返回命令用于每个智能节点返回自检结果，网桥节点接收到检测结果返回命令后，将其转发到控制中心，并统计检测结果，当某个网桥所管理的节点中有异常的情况下，网桥也会有指示。检测结果返回命令的数据格式如表 5-13 所示。

表 5-13 检测结果返回命令
Tab.5-13 Return the testing result command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	3DH	TEM	PRE	REV	RES	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）为返回检测结果的智能节点的地址，ADRH 为返

回检测结果的节点地址的高八位，ADRL 为返回检测结果的节点地址的低八位。

字节 6 (3DH) 为命令的编号。

字节 7 (TEM) 为检测的温度值。

字节 8 (PRE) 为检测的压力值。

字节 9 (REV) 为油泵节点检测的泵机转速值。

字节 10 (RES) 为检测的结果分析，该字节数据内容说明如表 5-14 所示。

表 5-14 RES 含义
Tab.5-14 The meaning of RES

RES 值	00	01	02	03	04	05	06	07	08
含义	该节点正常	温度值异常	压力值异常	泵机转速异常	温度值和压力值都异常	温度值和泵机转速异常	压力值和泵机转速异常	温度值、压力值和泵机转速均异常	节点网络连接异常

在以下情况下需要使用检测命令：

① 当接收到检测命令后，执行检测过程，并将结果通过检测结果返回命令返回。

② 有些时候，在工业现场需要临时检测某个节点的运行状况，这时可通过该节点上的控制按键设置执行检测过程，检测完成后发送检测结果返回命令。

说明：

每个智能节点的检测结果分析都是由智能节点根据设定的参数自行判断的，然后再将结果返回到控制中心。在智能节点返回到网桥节点的检测结果分析中并不存在连接异常的情况，只有当网桥节点在向某个节点连续发送三次检测命令后，该节点一直没有检测结果返回时，就说明该节点的网络连接发生异常，这时网桥节点就向控制中心发送标识符为异常智能节点地址的检测结果返回命令，报告该节点网络连接异常，这时，该命令中的第 7、8、9 字节的数据将为无效。

4 实时控制通信相关命令

实时控制通信命令主要是系统工作过程中，为了协调各个节点的正常工作并及时将工业现场发生的事情返回到控制中心的命令。

(1) 给油开始/停止命令

给油开始/停止命令命令是用于控制润滑节点开始给油和停止给油。其格式如表 5-15 所示。

表 5-15 给油开始/停止命令
Tab.5-15 Start or cease oiling command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	5AH	O/C	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）为需要给油的润滑节点的地址，ADRH 为需要给油的润滑节点地址的高八位，ADRL 为需要给油的润滑节点地址的低八位。

字节 6（5AH）为命令的编号。

字节 7（O/C）标识该节点是需要打开电磁阀开始给油还是关闭电磁阀停止给油，该节点含义如表 5-16 所示。

表 5-16 O/C 含义
Tab.5-16 The meaning of O/C

O/C 值	0	1
含义	开始给油	停止给油

说明：

该命令主要是在润滑节点由控制中心手动控制时使用。当在控制中心命令某个润滑节点给油或停止给油时，会向该润滑节点发送给油开始/停止命令，当润滑节点接收到该命令后，会打开自己的电磁阀，同时向泵节点发送泵机打开命令。反之，当控制中心命令某个润滑节点停止给油时，会向该润滑节点发送电磁阀关闭命令，当润滑节点接收到该命令后，命令打开自己的电磁阀，同时向泵节点发送泵机关闭命令。

（2）泵机打开/关闭命令

泵机打开/关闭命令是向泵节点发送的命令泵机开始运作或停止运作的命令。其格式如表 5-17 所示。

表 5-17 泵机打开/关闭命令
Tab.5-17 Start or close the pump command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	5BH	O/C	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）为需要控制泵机动作的泵节点的地址，ADRH 为泵节点地址的高八位，ADRL 为泵节点地址的低八位。

字节 6（5BH）为命令的编号。

字节 7（O/C）标识是需要该节点打开泵机还是关闭泵机，该节点含义如表 5-18

所示。

表 5-18 O/C 含义
Tab.5-18 The meaning of O/C

O/C 值	0	1
含义	打开泵机	关闭泵机

说明：

该命令是当某个润滑节点需要给油时，该润滑节点除了打开自己的电磁阀外，还需要向泵机节点发送泵机打开/关闭命令，这样才能使油路通畅，实现给油。

系统中每个润滑节点都是通过下面的形式得到所在子网泵节点的地址的：

0+所在子网网桥地址+0+0110 1101 (B)

(3) 故障发生报警命令

当节点工作异常时，会发送故障发生报警命令。其格式如表 5-19 所示。

表 5-19 故障发生报警命令
Tab.5-19 Alarm when broken down command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	5CH	TYP	TEM	PRE	REV	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为异常节点所在子网中的网桥节点的地址，ADRH 为泵节点地址的高八位，ADRL 为泵节点地址的低八位。

字节 6 (5CH) 为命令的编号。

字节 7 (TYP) 为报警的类型，该节点含义如表 5-20 所示。

表 5-20 TYP 含义
Tab.5-20 The meaning of TYP

TYP 值	01	02	03	04	05	06	07
含义	温度值异常	压力值异常	泵机转速异常	温度值和压力值都异常	温度值和泵机转速异常	压力值和泵机转速异常	温度值、压力值和泵机转速均异常

字节 8 (TEM) 为检测的异常温度值。

字节 9 (PRE) 为检测的异常压力值。

字节 10 (REV) 为泵节点检测的异常泵机转速值。

说明：

故障发生报警命令不同于检测结果返回命令的报警，该报警命令是只有在节点第一次检测到某个参数发生异常时，立即向控制中心发送的报警命令，而检测结果返回命令的报警在系统异常时，每次自检都会产生的报警。

(4) 报警解除命令

当节点的异常变量恢复正常后，会向控制中心发送报警解除命令。其格式如表 5-21 所示。

表 5-21 报警解除命令
Tab.5-21 Lift the alarm command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	5DH	TYP	TEM	PRE	REV	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）为解除报警的节点的地址，ADRH 为地址的高八位，ADRL 为地址的低八位。

字节 6（5DH）为命令的编号。

字节 7（TYP）为解除报警的类型，该节点含义如表 5-22 所示。

表 5-22 TYP 含义
Tab.5-22 The meaning of TYP

TYP 值	含义
01	解除温度值异常报警
02	解除压力值异常报警
03	解除泵机转速异常报警
04	解除温度值和压力值都异常报警
05	解除温度值和泵机转速异常报警
06	解除压力值和泵机转速异常报警
07	解除温度值、压力值和泵机转速均异常报警

字节 8（TEM）为检测的温度值。

字节 9（PRE）为检测的压力值。

字节 10（REV）为油泵节点检测的泵机转速值。

(5) 节点打开/关闭命令

该命令用于打开某个节点开始工作或者关闭某个节点停止工作。其格式如表 5-23 所示。

表 5-23 节点打开/关闭命令
Tab.5-23 Open or close a node command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	5EH	O/C	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中：

字节 2、3（ADRH、ADRL）为需要节点打开/关闭的节点的地址，ADRH 为节点地址的高八位，ADRL 为节点地址的低八位。

字节 6 (5EH) 为命令的编号。

字节 7 (O/C) 标识是需要该节点打开还是关闭, 该节点含义如表 5-24 所示。

表 5-24 O/C 含义
Tab.5-24 The meaning of O/C

O/C 值	0	1
含义	打开该节点	关闭该节点

说明:

关闭某个节点后, 被关闭的节点只是停止给油, 但是没有从网络中退出, 还会参与系统的节点巡检和报警检测。

(6) 手控模式下参数设置返回命令

该命令是将现场按键设置的结果返回到网桥和控制中心, 格式如表 5-25 所示。

表 5-25 节点打开/关闭命令
Tab.5-25 Open or close a node command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	5FH	RETH	RETL	TYP	RES	XX	XX	XX

其中:

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 接收设置返回结果的网桥节点的地址, ADRH 为网桥节点地址的高八位, ADRL 为网桥节点地址的低八位。

字节 6 (5FH) 为命令的编号。

字节 7、8 (RETH、RETL) 为返回设置结果的智能节点的地址, RETH 为地址的高八位, RETL 为地址的低八位。

字节 9、10 (TYP、RES) 为设置的参数的类型和参数的值, 其对应的含义如表 5-26 所示。

表 5-26 TYP 含义
Tab.5-26 The meaning of TYP

TYP 值	TYP 值含义	RES 值	RES 值含义
00	节点工作模式	00	节点自动控制润滑
		01	节点不自动控制润滑
01	节点温度报警上限	节点温度报警上限值	
02	节点压力报警上限	节点压力报警上限值	
03	节点压力报警下限	节点压力报警下限值	
04	节点去除请求	(无)	
05	节点报警解除	(无)	
06	节点打开/关闭工作	00	节点打开开始工作
		01	节点关闭停止工作

说明:

当上层控制节点接收到的是节点去除请求类型命令时, 会向该节点发送节点去除命令, 并回收该节点的地址。当上层控制节点接收到的是报警解除命令时, 控制中心会停止该节点的报警, 并将产生这次报警的温度或压力值作为下次报警的依据。

5 其它

应答返回命令

从机接收到时主机的控制命令后, 这时虽然没有需要返回的数据, 但为了确认控制命令正常接收到, 必须使用应答返回命令返回一个确认信息 (ACK)。其格式如表 5-27 所示。

表 5-27 应答返回命令
Tab.5-27 Acknowledgment command

字节 2	字节 3	字节 6	字节 7	字节 8	字节 9	字节 10	字节 11	字节 12	字节 13
ADRH	ADRL	96H	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

其中:

字节 2、3 (ADRH、ADRL) 为应答接收节点的地址, ADRH 为地址的高八位, ADRL 为地址的低八位。

字节 6 (96H) 为命令的编号。

5.2 控制中心软件设计

控制中心图形界面要求能够为工作人员提供一个便捷的方式实现大型润滑系统的远程检测与控制。本文采用的是 Microsoft 公司提供的 Visual Studio 2005 平台下的 Visual Basic 语言完成了控制中心图形界面设计。

5.2.1 MScomm 控件

为了实现控制中心 PC 机与 CAN-RS232 转换器的串口数据交互, 本文采用了 MScomm 控件, 该控件是一种专用的串口通信控件。在 VS2005 编程环境下, 对 MScomm 控件的属性进行设置, 可以快速实现串口的选择、初始化以及数据的发送与接收。MScomm 控件的属性有很多, 其中与串口通信密切相关的核心属性如表 5-28 所示。

表 5-28 MScomm 控件属性
Tab.5-28 The attributes of MScomm Control

属性名称	功能
CommPort	设置或返回通信的串口号
PortOpen	设置或返回串口状态，也可以用于打开或者关闭串口
Settings	设置或返回串口通信采用的波特率、奇偶校验、数据位和停止位参数
RThreshold	设置串口触发 OnComm 事件所需要接收的字节数
SThreshold	设置串口触发 OnComm 事件所需要发送的字节数
InBufferCount	接收缓冲区内等待读取的字节数，当其值设为 0 时，则清空接收缓冲区
OutBufferCount	发送缓冲区内等待发送的字节数，当其值设为 0 时，则清空发送缓冲区
InBufferSize	设置接收缓冲区的大小
OutBufferSize	设置发送缓冲区的大小

使用 MScomm 控件对串口初始化的程序如下：

```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
    System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    AxMSComm1.CommPort = 1      '设置为 1 号 COM 口
    AxMSComm1.InputMode = comInputModeBinary    '二进制格式接收
    AxMSComm1.RThreshold = 1    '接收到一个字符，就产生 OnComm 事件
    AxMSComm1.SThreshold = 1    '发送出一个字符，就产生 OnComm 事件
    AxMSComm1.InBufferSize = 1  '设置 AxMSComm1 接收缓冲区为 1 字节
    AxMSComm1.OutBufferSize = 1 '设置 AxMSComm1 发送缓冲区为 1 字节
    AxMSComm1.InBufferCount = 0 '清空接收缓冲区
    AxMSComm1.OutBufferCount = 0 '清空发送缓冲区
    AxMSComm1.Settings = "9600,N,8,1"    '通信参数设置
    AxMSComm1.PortOpen = True    '打开串口
    AxMSComm1.InputLen = 1        '每次从接收缓冲区中读取的字符数
End Sub
```

针对 MSComm 控件有一个 OnComm 事件，在 CommEvent 属性值变化时产生该事件，说明发生一个通讯事件或错误。通过响应该事件，并从 InBufferCount 中读取数据，就可以完成数据的接收。

5.2.2 控制中心图形界面设计

由于本文设计的大型集中润滑系统包含的润滑节点数量过多，在用户主界面难以完全展示，故在软件运行后的主界面中，只完成了监控结果的显示，并提供了各种功能的选择入口。如图 5-2 所示。

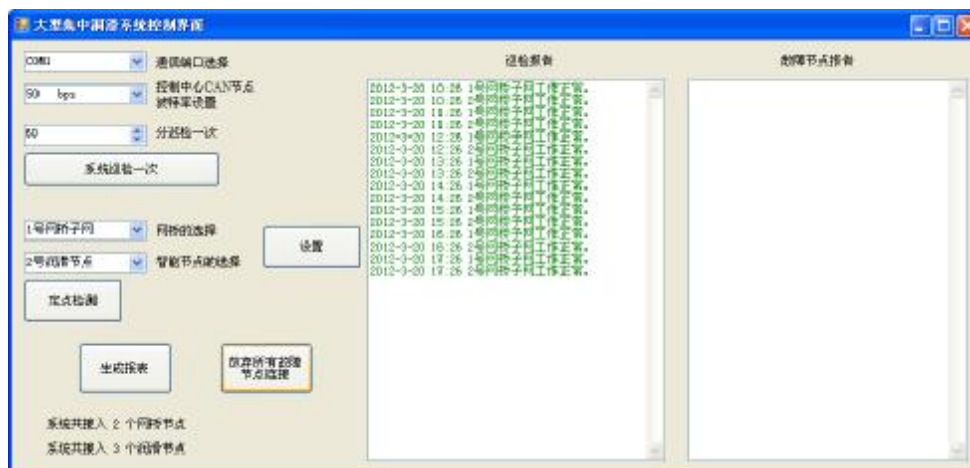


图 5-2 大型集中润滑系统操作界面

Fig.5-2 The operation interface of large scale integral lubricating system

在该操作界面中可以选择计算机所使用的串行通信口，并且可以根据实际情况设置 CAN-RS232 与网桥之间的通讯速率，该通讯速率越高可以使系统的实时性增强，但是通讯的距离以及可靠性会有所下降，所以应根据实际情况设置该通讯速率，建议使用较低的通讯速率，这样即使位置较远的网桥也可以可靠的将数据发送到控制中心。

另外在该界面中可以设置系统节点巡检时间间隔，以保证系统能够及时发现出现故障节点，以保证系统的可靠性。系统的巡检结果会显示在“巡检报告”栏里，当存在某个节点故障的情况下，系统会将故障节点的具体信息显示在“故障节点报告”栏里。

在该界面中的“网桥节点选择”和“智能节点选择”中，可以实现具体智能节点的选择，并可通过“设置”按钮进入相应节点的设置页面。进入某个润滑节点的设置界面如图 5-3 所示。



图 5-3 润滑节点设置界面

Fig.5-3 The setup page of lubricating node

在该界面中，“已选择的网桥节点”显示的为所选择的润滑节点所在的网桥节点号，而“已选择的智能节点”则显示了所选择的智能节点号，可以是润滑节点，也可以是泵节点。在“网桥子网 CAN 波特率设置”中，可以选择该网桥子网所采用的通讯波特率，在子网分布较为集中的情况下，建议使用较高的波特率。

在“高温警戒值上/下限设置”、“油管压力警戒值上/下限设置”和“泵机转速警戒值下限设置”中，可以完成对该节点的报警参数的配置。其中“泵机转速警戒值下限设置”只能用来设置泵节点的报警参数。在“润滑周期”和“润滑时间”中，可以设置节点的润滑参数。“节点自检”按钮实现控制中心发送“检测命令”，实现节点自检并返回结果。“节点去除”按钮实现控制中心发送“节点去除命令”。“工作模式选择”中，可以选择设置节点的工作模式为手动模式或者自动模式。

当所有参数设置完成后，单击“确定设置按钮”，控制中心会根据“命令发送形式选择”中选择的通信方式将设置的参数按照对应的通信形式发送出去。当设置的为“单播”时，控制中心会将命令发送到该润滑节点；当设置的为“组播”时，控制中心会将命令发送到该润滑节点所在的网桥节点，实现该子网所有润滑节点的参数统一配置；当设置的为“广播”时，控制中心采用广播地址，将该参数配置到系统的所有润滑节点。

5.3 各个节点程序设计

5.3.1 CAN-RS232 转换器程序设计

CAN-RS232 转换器的功能与计算机网络中的网关功能相似，只负责通信协议的转换，它需要实现 CAN 总线与控制中心计算机 RS-232 接口的通信。其程序流程图如图 5-4 所示。

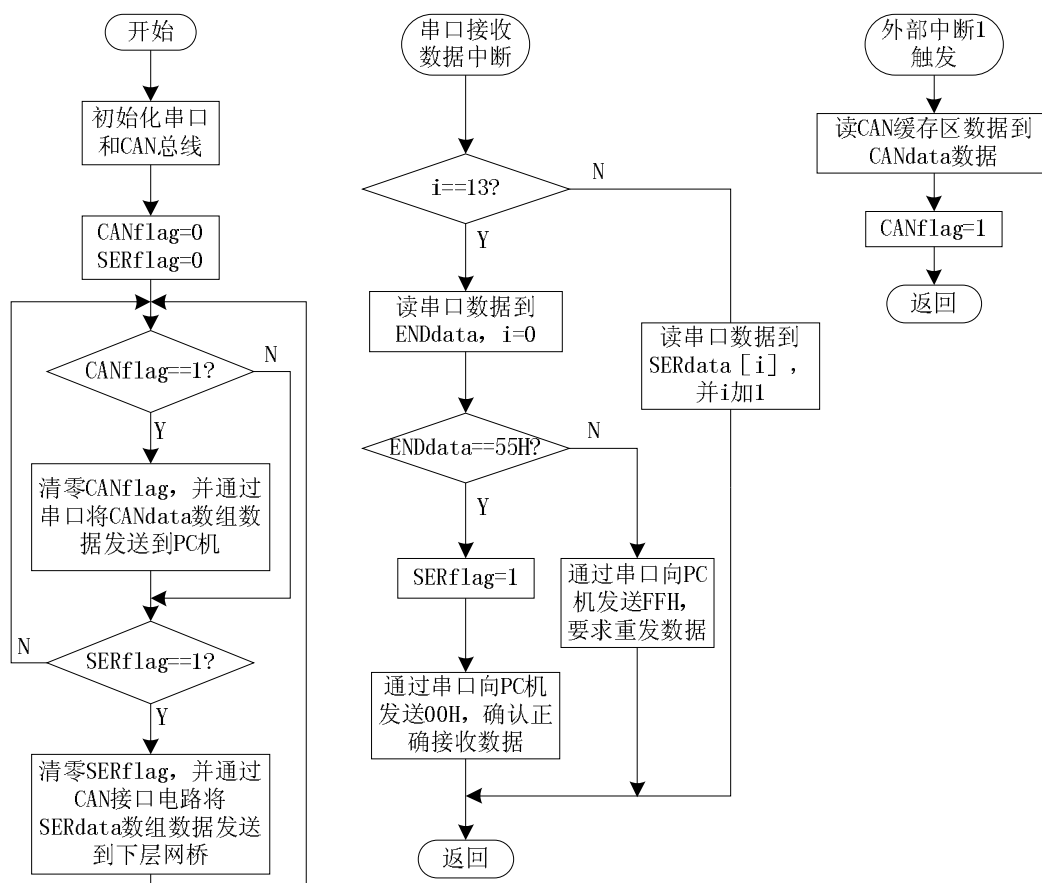


图 5-4 CAN-RS232 转换器程序流程图
Fig.5-4 The flow chart of CAN-RS232 convertor

说明:

(1) 该程序主要实现两个功能：一个是接收 CAN 总线数据并转发到串口，另一个是接收串口数据并转发到 CAN 总线；

(2) 该流程图中的 CANflag 为 CAN 数据接收更新标志。当 CAN 接收器接收到数据后，会产生外部中断 1，说明 CAN 接收数据缓存区接收到新的数据，然后单片机读数据缓存区后会标志 CAN 数据更新，在主程序中，只要发现 CANflag 为 1，就知道有新的 CAN 数据需要转发到串口；

(3) 该流程图中的 SERflag 为串口正确接收完一帧数据标志。PC 机向串口发送完一帧数据后，会多发送一个 55H，标志这一帧数据发送结束。当单片机接收到第 14 字节数据时，如果该字节是 55H，说明这一帧数据正确接收，这时单片机会向 PC 机发送一个数据正确接收应答 00H，反之，如果第 14 字节不是 55H，说明这一帧数据接收错误，这时单片机会向 PC 机发送 FFH，要求重新发送这一帧数据。

(4) 在控制中心方面，当发送完一帧数据后，如果没有接收应答就重新发送

数据，而如果接收到重发要求时，即串口接收到转换器发送的 FFH 时，会立即清空串口发送数据缓存区，并重新发送数据。

5.3.2 网桥节点程序设计

网桥节点完成对控制中心及智能节点发出的数据进行过滤、分析、转发等工作，并负责所管理子网智能节点的部分控制工作。其流程图如图 5-5 所示。

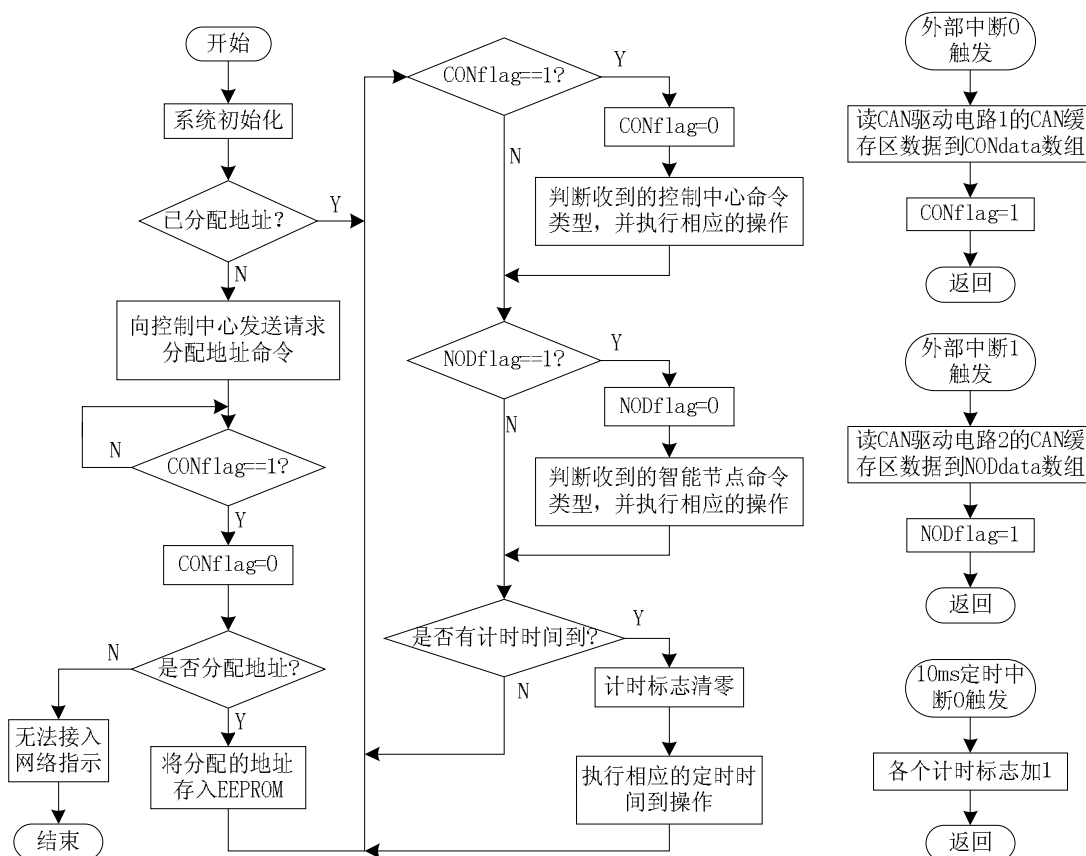


图 5-5 网桥节点程序流程图

Fig.5-5 The flow chart of bridge node

说明:

(1) 该流程图重点展示了网桥地址分配过程、接收控制中心和智能节点数据以及各种事件的计时方法。而对具体命令和事件的处理，已在通信协议中做了具体说明；

(2) 该流程图的 CONflag 是接收到控制中心命令标志，而 NODflag 是接收到智能节点命令标志；

(3) 该程序中，设定定时器 0 每 10ms 发生一次中断，而所有定时事件都通过累计该定时器中断次数来计时。例如：系统设定发送的所有命令，在 3 秒钟内必须有相应的数据返回或接收应答，如果 3 秒内没有收到数据或应答，就重发数

说明：

(1) 该流程图主要展示了润滑节点的地址分配过程、在自动控制模式下实现定时、定量自动给油过程以及对按键命令、CAN 接口命令、定时时间事件的采集和处理；

(2) 在多数情况下，润滑节点都应该工作在自动控制模式，因为这种模式下，系统不需要人的操作，润滑节点会根据设定好的给油时间间隔和每次给油的量自动完成润滑工作；

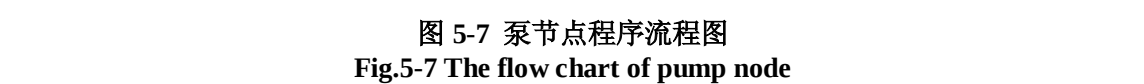
(3) 在自动控制模式下，给油的过程由润滑节点和泵节点的相互通信与协调完成的。当需要给油时，润滑节点会打开自己的电磁阀，并向泵节点发送泵机运转命令，这样泵机泵出的润滑油可以对润滑点顺畅给油，同时润滑节点开始采集流量传感器的脉冲数。当累计的脉冲数达到设定值时，说明给油的量达到设定值，这时润滑节点会向泵节点发送泵机停止运转命令，同时关闭自己的电磁阀；

(4) 该程序中定时器 0 的 10ms 中断功能与网桥节点的定时器 10ms 中断功能相同，都是为各种定时事件记时的；

(5) 按键是为了方便工作人员在现场对节点控制而设计的，按键与数码管组成了简单的现场控制界面。

5.3.4 泵节点程序设计

泵节点需要依据润滑节点的命令控制泵机的起动与停止，以配合润滑节点完成给油工作。另外还需要实时监测泵机的工作情况，并将工作情况及时反馈给控制中心。其程序流程图如图 5-7 所示。



(1) 该流程图重点展示了泵节点的地址分配过程、润滑节点发送的开始/停止给油命令的处理以及 CAN 接口命令、定时时间事件的采集过程;

(2) 正常情况下, 泵节点处理最多的就是润滑节点发送的开始/停止给油命令。当泵节点接收到某个润滑节点发送的开始给油命令后, 会驱动泵机, 使泵机运转, 同时标志该润滑节点正在润滑。而当泵节点接收到停止给油命令后, 会标志该润滑节点停止给油, 并判断是否所有的润滑节点都停止给油了, 如果都停止了, 就

可以停止泵机的运转，但如果还有其它润滑节点在给油，这种情况下就不能关闭泵节点的运转，直到所有的润滑节点都停止给油了；

(3) 该程序中定时器 0 的 10ms 中断功能与网桥节点和润滑节点的定时器 10ms 中断功能相同，都是为各种定时事件记时的。

5.3.5 控制程序

本系统中的 STC10F04XE 单片机控制程序采用 Keil C51 编写，下面将重点介绍 CAN 总线初始化与具有扩展帧格式的数据帧的发送与接收程序编写^[65]。

(1) SJA1000 的初始化

SJA1000 的初始化函数完成 CAN 接口的工作模式设置、波特率设置、标识符设置以及中断设置等工作。下面是初始化地址为 01 01 (H) 的节点的程序：

Void CAN_init(void)//SJA1000 的初始化

```
{
    uchar bdata Judge;
    uchar ACRR[4];
    uchar AMRR[4];
    //(PeliCAN Mode,ACR 和 AMR 中每个寄存器最大长度为四个字节
    ACRR[0] = 0x01;
    ACRR[1] = 0x01;
    ACRR[2] = 0x80;
    ACRR[3] = 0x80;//接收代码寄存器，节点地址为 01 01 (H)
    //AMR 中某位为 1 时也就意味着 ACR 中的该位被屏蔽，任意值都可以接收
    //即只比较 AMR 寄存器中位置为 0 的位，只要他们符合就接收
    AMRR[0] = 0x00;
    AMRR[1] = 0X00;
    AMRR[2] = 0x00;
    AMRR[3] = 0x00;
    do//防止未进入复位模式，重复写入
    {
        MODR = 0x01;
        //MODR.0=1,进入复位模式，以便设置相应的寄存器
        //MODR.3=0,双滤波器模式，只比较标识符的前两字节
        Judge = MODR ;
    }
    while( !(Judge & 0x01) );//复位不成功就再次写 MODR
    //CDR 时钟分频器
    CDR = 0x88; _nop_(); _nop_();
    //CDR.3=1，时钟关闭
    //CDR.7=0 时为 basic CAN，CDR.7=1 为 Peli CAN
```

```

//总线定时寄存器 0, 1, SJA1000 的 MODE 引脚接高, 为 intel 模式, 2 分频
BTR0 = 0x05; _nop_(); _nop_();//BTR1 单倍采样 1+16+8
BTR1 = 0xef; _nop_(); _nop_();//总线波特率设定 12M 晶振 波特率 41.7K
IER = 0x03; _nop_(); _nop_();//中断使能寄存器
//IER.0=1 接收中断使能,接收缓冲满, 就中断
//IER.1=1 发送中断使能, 信息被成功发送或发送缓冲器又可访问, 就中断
OCR = 0xaa; _nop_(); _nop_();//配置输出控制寄存器
CMR = 0x04; _nop_(); _nop_();//释放接收缓冲器

ACR = ACRR[0]; _nop_(); _nop_();
ACR1 = ACRR[1]; _nop_(); _nop_();
ACR2 = ACRR[2]; _nop_(); _nop_();
ACR3 = ACRR[3]; _nop_(); _nop_();//初始化标示码

AMR = AMRR[0]; _nop_(); _nop_();
AMR1 = AMRR[1]; _nop_(); _nop_();
AMR2 = AMRR[2]; _nop_(); _nop_();
AMR3 = AMRR[3]; _nop_(); _nop_();//初始化掩码
do//确保退出复位模式
{
    MODR = 0x08;
    Judge = MODR;
}
while( Judge & 0x01 );
}

```

(2) CAN 总线数据发送

发送子程序完成节点报文的发送工作。当需要发送某些数据时, 只需将该数据按照固定的格式组合成一个数据帧, 然后将其放入 SJA1000 的发送缓冲区, 并设置 SJA1000 开始发送即可, 下面为单片机完成 CAN 总线数据帧发送的子程序。

```

Void Write_SJASendBUF(void)
{
    if(Tx_Buffer_Flag==1) //若发送缓冲里有数据
    {
        if(SJA_02_SR & 0X04 == 0X04)//若 CAN 发送缓冲里已空 TBS=1
        {
            if(SJA_02_SR & 0X08 == 0X08)//若已经完成数据发送 TCS=1
            {
                SJA_TX_ID1 = Tx_Buffer[0];
                //将发送缓冲 0 里的数据送到 SJA1000 的发送缓冲 1
                SJA_TX_ID2 = Tx_Buffer[1];
                //将发送缓冲 1 里的数据送到 SJA1000 的发送缓冲 2
            }
        }
    }
}

```

```

Tx_Buffer_Dlc = Tx_Buffer[1] & 0x0f;
//读取有效数据长度
if(Tx_Buffer_Dlc != 0)//如果有需要发送的数据
{
    for(loop = 0; loop <= Tx_buffer_dlc - 1; loop ++ )
    {
        SJA_TX_DATA[loop] = Tx_Buffer[loop+2];
        //将发送缓冲器中的数据送到 SJA1000 的发送缓冲
    }
}
Tx_Buffer_Flag = 0;//标志发送缓冲数据为空
SJA_01_CMR = 0x01;//启动 SJA1000 数据发送
}
}
}

```

(3) CAN 总线数据接收

接收子程序完成节点报文的接收工作，有两种方式可以完成 CAN 总线数据接收，一种是中断方式，另一种是查询方式。在通讯实时性要求不是特别高的情况下，建议使用查询方式接收数据。下面介绍以查询方式接收数据的子程序：

Void Read_SJAreadBUF(void)

```

{
    if((SJA_02_SR & 0X01) == 0X01)//如果 SJA1000 接收到新的数据
    {
        if(Rx_Buffer_Flag == 0)//如果接收 CAN 数据的数组没有满
        {
            Rx_Buffer[0] = SJA_RX_ID1;//将 CAN 数据 1 存到接收数组 0
            Rx_Buffer[1] = SJA_RX_ID2;//将 CAN 数据 2 存到接收数组 1
            Can_Data_Dlc = Rx_Buffer[1] & 0x0f;//读取有效数据长度
            if(Can_Data_Dlc != 0)//如果有有效数据
            {
                for(loop = 2; loop <= can_data_dlc + 1; loop ++ )
                {
                    Rx_Buffer[loop] = SJA_RX_DATA[loop-2];
                    //将 CAN 数据存到接收数组中
                }
            }
            if((SJA_02_SR & 0X03) == 0X03)//如果 SJA1000 溢出
            {
                SJA_01_CMA = 0X0C;//释放接收缓冲区并将溢出标志位清除
            }
            else

```

```
        {  
            SJA_01_CMA = 0X04;//释放接收缓冲区  
        }  
        Rx_Buffer_Flag = 1;//标志接收 CAN 数据的数组已满  
    }  
}
```


6 总结与展望

6.1 总结

本文首先研究了基于现场总线的控制系统网络组建技术，并在此基础上，研究了 CAN 总线的特点与大型润滑系统的要求，从而构建了基于 CAN 总线的大型集中润滑系统，该系统能够满足上千个润滑节点通信的需要。虽然该网络系统以大型集中润滑系统的要求为背景开发的，但其原理、功能及各项技术是通用的，不仅适用于大型集中润滑系统，而且经稍加改进之后，便可用于其他大型的、多节点的网络系统的组建。

本论文主要完成的工作有：

第一，阐述了测控系统的网络化发展方向及常用的网络通信技术，并分析了现场总线技术的优越性；研究了大型集中润滑系统的发展现状。

第二，通过研究大型集中润滑系统的功能要求，设计了系统的网络拓扑结构及通信网络。

第三，深入研究了 CAN 总线的通信协议和技术规范，并将其各项技术应用于大型集中润滑系统的设计。

第四，完成了大型集中润滑系统通信接口电路的硬件设计，在此基础上，对系统节点进行编址；分析、设计了网络实现单播、组播和广播的方法；设计了系统通信采用的速率。

第五，完成了系统各个节点的硬件设计；设计了系统的网络通信协议，并分析了系统实现节点的动态增加与去除、系统故障的自诊断等功能的过程；完成了控制中心图形界面的软件设计及各个下位机节点的程序设计。

最后，指出了该大型集中润滑系统的不足之处，及将来的改进方向。

6.2 创新点

本文设计的大型集中润滑系统采用了树型网络拓扑结构，增加了网桥作为中间层，能够实现上千个润滑节点间的数据交换与控制。

本文基于 CAN 总线双滤波技术对系统各个节点进行了合理的编址，使大型集中润滑系统具有了单播、组播和广播三种通信方式。同时该系统还具有动态组建的功能，可以实现系统节点的动态连接与去除。

本文设计的应用层协议还赋予了系统自检功能，当某处节点发生故障的时候，该节点能够根据压力、温度传感器以及泵机转速检测等功能自行判断出故障的原

因，并指示出来。当某个节点发生网络连接故障后，该节点还具有自主控制能力，从而使故障造成的损失降到最低。

6.3 展望

6.3.1 无线扩展

工业无线控制网络是从新兴的无线传感器网络逐渐发展而来的，它具有能耗低、成本低、扩展性强、灵活性强等特点，因此而成为继现场总线技术之后的又一个工业控制研究热点^[66-68]。工业无线网络是采用无线通信技术实现工业现场信息传递的，这些无线技术有红外通讯、蓝牙通讯、RFID、WLAN 等多种方式。这些无线技术都可以为工业现场的移动机器人、智能设备等自动化设备提供无线的数据通信与组网方式。

在工业现场的有些地方由于需要经常处于移动中，如天车等，走线较为困难，利用 CAN 总线与无线通信相结合的大型测控网络组建方案，将更有利于系统的安装与控制。但是由于工业应用的特殊要求以及复杂工业现场环境，工业无线网络的应用还面临着通信安全性、可靠性、实时性以及抗干扰能力等诸多问题的考验。

6.3.2 计算机网络扩展

所谓工业以太网(Industrial Ethernet)，就是应用于工业自动化领域的以太网技术。上世纪 90 年代中期以前，由于以太网的延时不确定，所以很少将其应用于工业自动化控制领域^[69]。但是随着近年来以太网交换技术的发展以及通信速度的提高，以太网技术在工业控制领域的应用有了新的契机^[70]。

在智能节点分布较为分散的大型测控系统中，由于每个厂房间的距离很远，这样节点间的通信距离就较远，如果还使用 CAN 总线作为通信介质，必定会造成通信可靠性的下降或通信速率的下降。为了保证系统的实时性和可靠性，就需要结合工业以太网构建大型测控系统网络。在通信距离较远的情况下采用工业以太网实现数据传输，而在通信距离较近的情况下，采用 CAN 总线实现数据传输。这样就在降低成本的前提下也保证了系统的可靠性。

参考文献

- [1] 于洋. 测控系统网络化技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] Guangyou Yang, Ming Li, Shuangqing Zhang. Remote Measuring and Control Terminal Based on Linuz Platform and Embedded Web Server[C]. The 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, 2009:104-108.
- [3] 李凤保, 杨黎明. 网络化测控系统技术[M]. 成都: 四川大学出版社, 2004.
- [4] SUN Mingge, ZHU Xilin. Design of Auto Disturbance Rejection Controller based on Fieldbus[C]. Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Information and Automation, 2010, 6:992-996.
- [5] 史久根, 张培仁, 陈真勇等. CAN 现场总线系统设计技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [6] Zhang Xiaowei, Guo Yingqing, Wang Lingfeng, Zhu Hui ren. Performance Analysis And Improvement Of The Lubrication System Of The Turbofan Aeroengine[C]. Proceedings of the 1st International Symposium on Jet Propulsion and Power Engineering, 2006, 1:664-670.
- [7] 毛胜辉. 大型机械设备智能控制润滑的计算机系统研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [8] 李向东. PLC 在干油集中润滑控制中的应用[J]. 矿山机械, 2004(3):57-59.
- [9] 蒋少游. 智能多点润滑系统在烧结机上的应用[J]. 烧结球团, 2004, 1(29):45-47.
- [10] 李学智, 盛奎川, 陈庆樟. 车辆底盘集中自动润滑系统设计[J]. 液压与气动, 2010(5):31-34.
- [11] 董长雷. 干油集中润滑系统的工作原理及其应用[J]. 建筑机械, 2003(8):52-54.
- [12] 张勇. 大型机械设备多点润滑的计算机控制系统[J]. 冶金设备, 2008(4):65-67.
- [13] 谢希仁. 计算机网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [14] Tineke M. Egyedi. Examining the relevance of paradigms to base OSI standardization[J]. Computer Standards & Interfaces, 1999, 20(4):355-374.
- [15] 陈国顺, 宋新民, 马峻. 网络化测控技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [16] H.B.JEON, C.K.UN. Contention-based Reservation Protocols in Multiwavelength Optical Networks with a Passive Star Topology[C]. 1992 IEEE International Conference on Communications, 1992:1473-1477.
- [17] 杨帆. 基于 CAN 总线的智能检测仪的研究与设计[D]. 上海: 同济大学, 2009.
- [18] Echelon Corporation. LonWorks Technology[EB/OL].

- <http://www.echelon.com/technology/lonworks>, 2010-3-15.
- [19] An Guochen, Meng Zhiyong, Ma Hongtao, Sui Bingdong. Design of Intelligent Transmitter based on HART Protocol[C]. 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2010, 167:40-43.
- [20] 沈利亚. 集中自动润滑系统介绍[J]. 地址装备, 2006, 7(2):19-22.
- [21] 上海诺法机械设备有限公司. 单线润滑系统[EB/OL].
<http://www.shnova.com/cpdx.htm>, 2010-4-21.
- [22] 南通市华东润滑设备有限公司. 双线式集中润滑系统[EB/OL].
<http://www.hrmade.com/cn/products/details.asp?id=102>, 2010-4-21.
- [23] 上海诺法机械设备有限公司. 双线润滑系统[EB/OL].
<http://www.shnova.com/cpsx.htm>, 2010-4-21.
- [24] 上海诺法机械设备有限公司. 递进润滑系统[EB/OL].
<http://www.shnova.com/cpdj.htm>, 2010-4-21.
- [25] 南通市华东润滑设备有限公司. 智能润滑系统[EB/OL].
<http://www.hrmade.com/cn/products/details.asp?id=108>, 2010-4-21.
- [26] 北京永泰润滑设备公司. 智能集中润滑系统[EB/OL].
<http://www.ytrh.cn/portal.php?mod=view&aid=15>, 2010-4-21.
- [27] Chun S M. Network Analysis of an Engine Lubrication System[J]. Tribology International, 2003, 36: 609-617.
- [28] 南通市华东润滑设备有限公司. HRZN-1 微电脑智能润滑使用说明书[Z], 2012.
- [29] Petri.co.il. Introduction to the OSI Model[EB/OL].
<http://www.petri.co.il/introduction-to-the-osi-model.htm>, 2011-9-05.
- [30] BOSCH, Inc. CAN 2.0 Specification PART A&B[Z], 1991.
- [31] 广州周立功单片机发展有限公司. CANbus 规范 V2. 0 版本[Z]. 广州: 广州周立功单片机发展有限公司. 2000.
- [32] 聂书平. 基于 CAN 总线的发动机控制节点通信研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2007.
- [33] Hans A. Hansson, Christer Norstorm. Intergrating Reliability and Timing Analysis of CAN-Based Systems[C]. 2002 IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002, 49(6):232-236.
- [34] 饶运涛, 邹继军, 郑勇芸. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.

- [35] CAN in Automation e. V. CAN dictionary[Z], 2011.
- [36] 王明霞. 汽车 CAN 总线通信网络可视化仿真和监控系统设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [37] BOSCH, Inc. CRC for CAN with flexible data rate (CAN FD)[Z], 2011.
- [38] 黄大勇, 王萍. 基于 MSComm 控件的微机与单片机多机通信[J]. 自动化与仪表, 2008(10):26-28.
- [39] Dan Meng, Jinhong Li, Liqing Hu. The research and application of intelligent data transmission in serial mode[C]. 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications, 2009:303-305.
- [40] Zhang Hongwei, Wang Xinhuan, Wang Fuzhong, Zhang Wei, Zhou Fei. Research of Coal Mine Safety Monitoring and Control System with CAN Field Bus[C]. The 2007' International Symposium on Safety Science and Technology, 2007:2144-2148.
- [41] Wang Shuxiao. Design of CAN board circuits based on SJA1000 for vehicle motor drives systems[C]. The 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 2009.
- [42] Liu Guangquan, Zhang Huixin, Qin Li, Wang Mintao. The Application of Can Interface Featured in C8051F MCU in the Data Transmission[C]. The 8th International Symposium on Test and Measurement, 2009:3202-3205.
- [43] 岳耀宾, 孟祥忠. 基于现场总线的监控网络节点的设计与实现[J]. 仪器仪表用户, 2008,15(3):77-78.
- [44] Gao Qiang, Ren Dexue, Zhang Jianfeng, Wu Haiqing, Sun Jian. The Design and Implementation of CAN Node Intelligent Communication Interface[C]. 2008 Chinese Control and Decision Conference, 2008:4896-4871.
- [45] 宏晶科技. STC11/10xx 系统单片机器件手册[Z], 2009.
- [46] Philips Semiconductors. SJA1000 Stand-alone CAN controller[Z], 2000.
- [47] Philips Semiconductors. PCA82C250 CAN controller interface[Z], 2000.
- [48] Xu Wenshang, Xie Yongchang, Li Xiaoyan, Li Qilong. Analysis of CAN Field Bus and Its Application in Spraying Control System[C]. The First International Symposium on Test Automation & Instrumentation, 2006:1767-1771.
- [49] 周三国. 基于 CAN 总线的汽车车灯控制网络设计与研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2007.
- [50] 孙立辉, 和志强, 曾文献. CAN 总线系统中多播技术的实现[J]. 河北省科学院学报, 2004,

21(3):62-66.

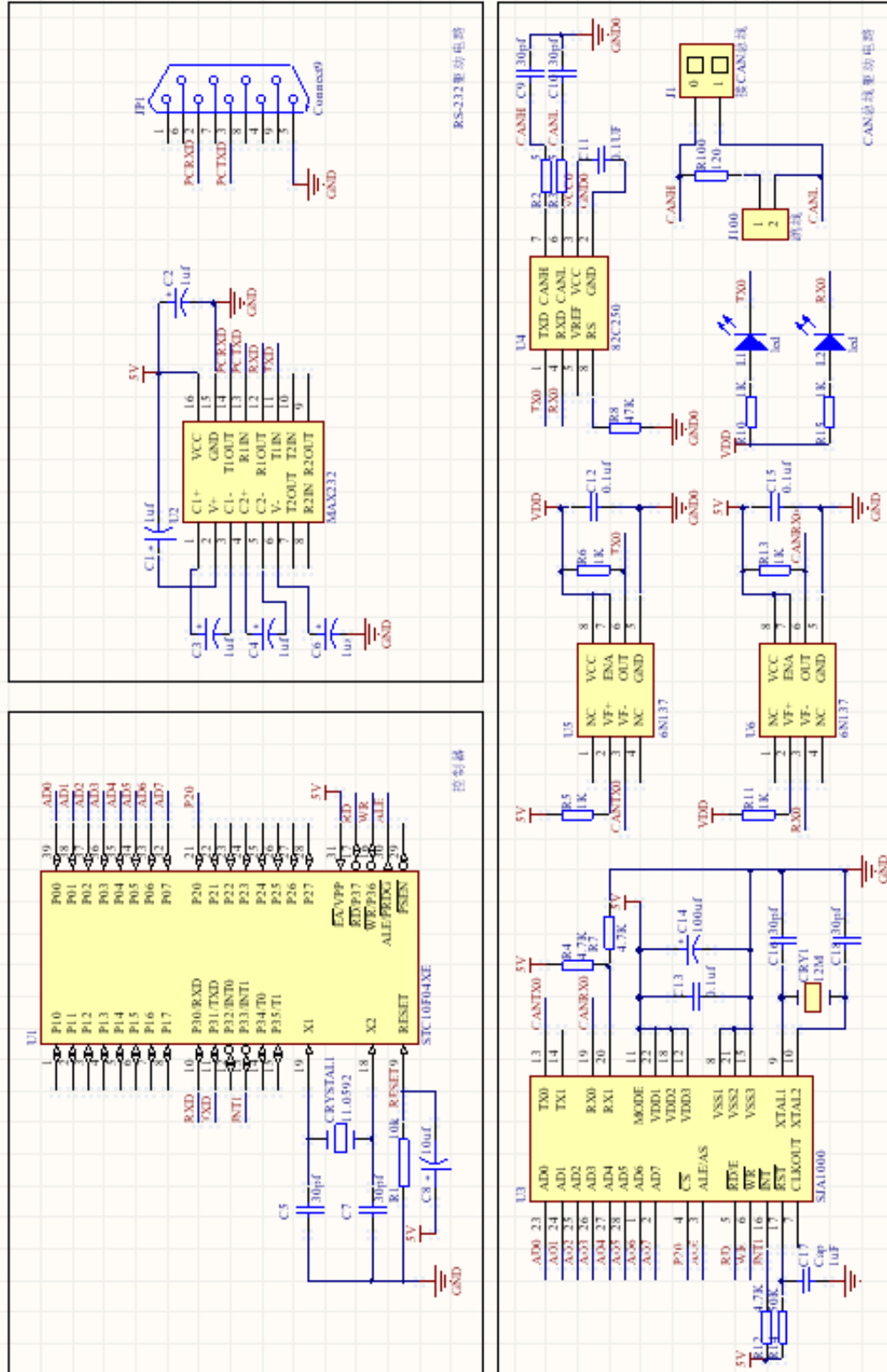
- [51] 孙尧, 闫保中, 孔祥力等. C8051F040 单片机 CAN 控制器的波特率设置研究[J], 应用科技, 2007, 34(1):51-54.
- [52] 王刚. 通信技术与电流保护的配合及实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [53] 杨芬, 徐钊, 曹茂虹. 增大 CAN 总线传输距离的分析与测试[J]. 工矿自动化, 2007(5):30-32.
- [54] 李娟. 基于 CAN 总线的 RS232 串口设备远程通信[J]. 国外电子元器件, 2005(7):11-14.
- [55] Sun Xihong, He Xiong, Guan Bao-An. Study on RS232 Bus and Can Bus Transformation in Thesub Station Integrated Automation[C]. The International Filedbus and Management and Control Integrative System Conference, 2002:286-289.
- [56] Omega Engineering, Inc. Introduction to Flow Meters[EB/OL].
<http://www.omega.com/prodinfo/flowmeters.html>, 2011-10-25.
- [57] 张斌, 徐兵, 马吉恩. 液压领域中的高精度流量计容积式流量计[J]. 液压与气动, 2005(3):54-58.
- [58] Liu Chi, Kennon Richard, Pressure Transducer Applied Between the Garment and the Body[C]. 2009 International Teztile Science and Technology Forum, 2009.
- [59] Shanghai Zhaohui Pressure Apparatus Co., Ltd. ZHYQ Sensor Product[EB/OL].
<http://www.zhyqsensor.com>, 2011-12-13.
- [60] 景昕, 顾晓峰. 基于数字温度传感器 DS18B20 的测温系统的设计[C]. 中国电子学会第十三届青年学术年会, 2007:150-154.
- [61] Dallas Semiconductor. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer[Z], 2008.
- [62] 南京沁恒电子有限公司. CH451 技术手册[Z], 2010.
- [63] 李荫莲. 霍尔传感器使用入门[J]. 电子制作, 2011(6):73-76.
- [64] Anachip Corp. AH173 Internal Pull-up Hall Effect Latch For High Temperature[Z], 2004.
- [65] 童长飞. C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [66] Tang Zhong, Zeng Peng, Wang Hong. Analysis and Design of Realtime and Reliable Industrial Wireless Control Communication Network and Protocol[C]. The 29th Chinese Control Conference, 2010:4157-4163.
- [67] Erik Cheever, Lynne A. Molter, Bruce A. Maxwell. A Remote Wireless Sensing and Control

- Laboratory[C]. US: Proceedings of the 2003 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, American Society for Engineering Education, 2003.
- [68] 高汉荣, 冯冬芹. 工业无线网络的现状及发展趋势[C]. 第十九届多国仪器仪表学术会议, 2008:87-90.
- [69] 刘哲伟, 王霄峡, 金文兵. 工业以太网的接口设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2009:443-447.
- [70] Chen Gang, Ye Dong, Che Rensheng. Developing Trend of Industrial Fieldbus Control System[C]. Proceedings of 8th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, 2007(1):765-768.

附录

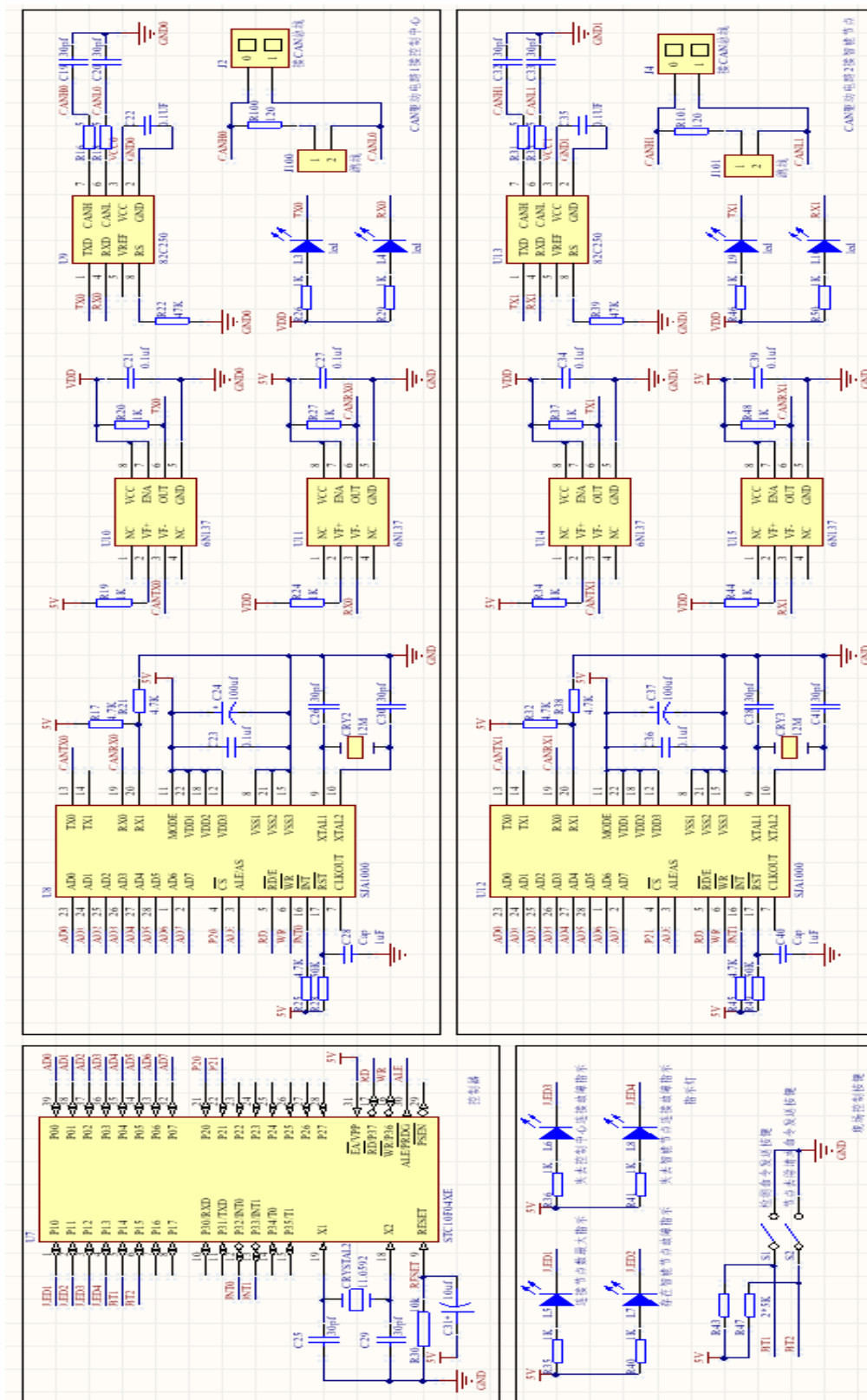
附录 1 CAN-RS232 转换器电路图

App. 1 The principle diagram of CAN-RS232 convertor



附录 2 网桥节点电路图

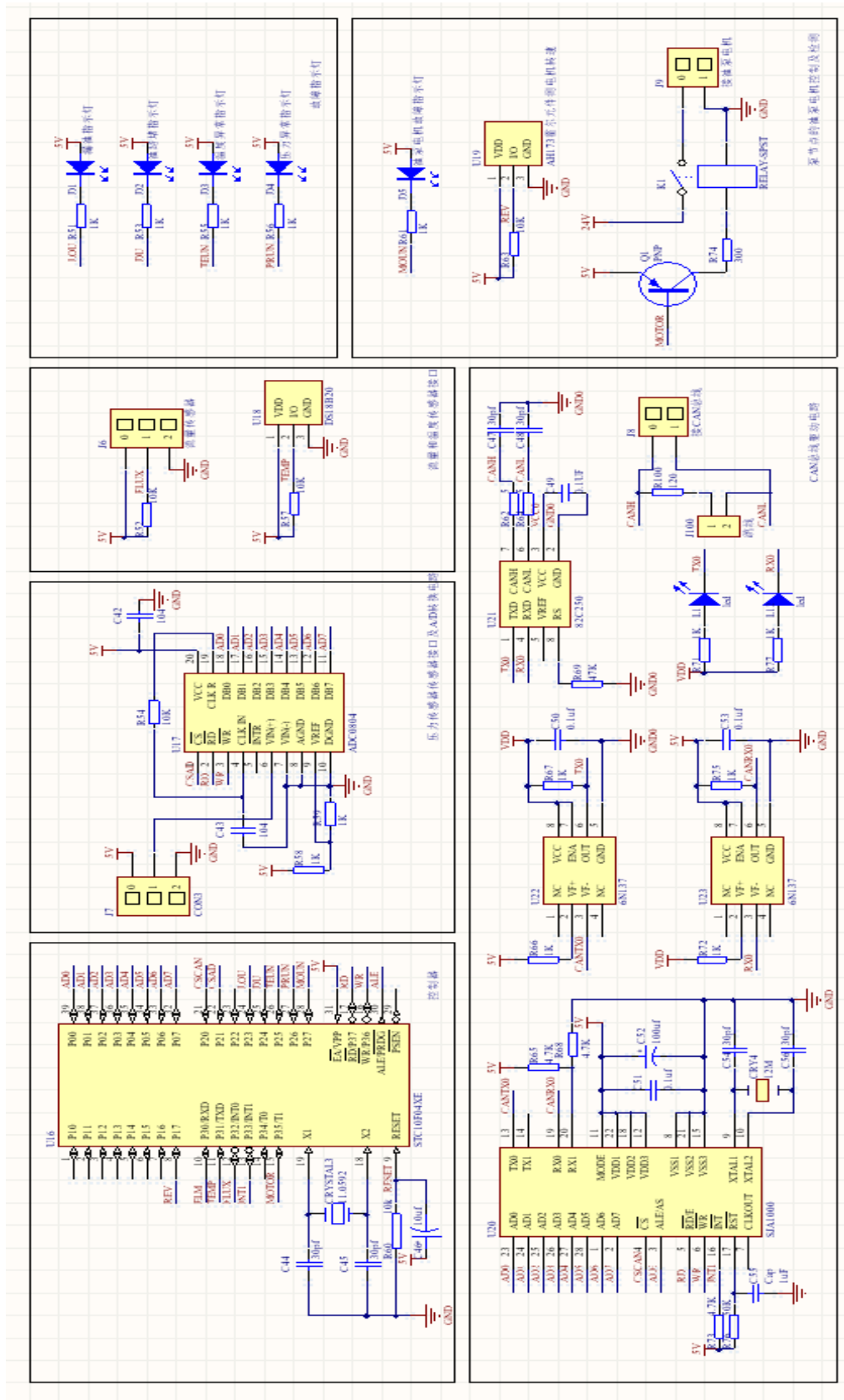
App.2 The principle diagram of bridge node





附录4 泵节点电路图

App.4 The principle diagram of pump node



作者简介

一、基本情况

姓名：程晓琦 性别：男 民族：汉 出生年月：1987-07-09 籍贯：河南省焦作市

2005.09—2009.06 郑州航空工业管理学院工学学士

2009.09—2012.06 河南理工大学工学硕士

二、学术论文

1. 李长有，程晓琦，张胜奎．基于 SHT75 的矿井救生舱温湿度检测[J]．仪器仪表学报增刊，2010，31（8）：108-111．
2. 李长有，程晓琦．基于单片机的风力发电机转速检测装置设计[J]．仪器仪表学报增刊，2011，32（6）：260-263．
3. 李长有，程晓琦，胡德恩．基于 CAN 总线的大型集中润滑系统的网络组建[J]．矿山机械（已录用）．

学位论文数据集

关键词*	密级*	中图分类号*	UDC	论文资助
测控网络; CAN 总线; 大型集中 润滑系统	公开	TP29	681.5	
学位授予单位名称*	学位授予单位代码*	学位类别*	学位级别*	
河南理工大学	10460	工学	硕士	
论文题名*		并列题名*		论文语种*
基于CAN总线的大型集中润滑系统的 研制		Development of Large Scale Integral Lubricating System based on CAN Bus		中文
作者姓名*	程晓琦	学号*	210904010016	
培养单位名称*	培养单位代码*	培养单位地址	邮编	
河南理工大学	10460	河南省焦作市	454003	
学科专业*	研究方向*	学制*	学位授予年*	
机械工程	传感与测控技术	三年	2012 年	
论文提交日期*		2012 年 4 月		
导师姓名*	李长有	职称*	教授	
评阅人		答辩委员会主席*	答辩委员会成员	
电子版论文提交格式 文本 (☒) 图像 (☐) 视频 (☐) 音频 (☐) 多媒体 (☐) 其他 (☐) 推荐格式: Microsoft Word(DOC); Adobe Reader (PDF)				
电子版论文出版 (发布) 者	电子版论文出版 (发布) 地		权限声明	
论文总页数*		71		
注: 共 33 项, 其中带*为必填数据, 为 22 项。				