

 瀚 海 学 术

CAN现场总线监控系统 原理和应用设计

张培仁 杜洪亮 等 编著

中国科学技术大学出版社

 瀚 海 学 术

CAN现场总线监控系统 原理和应用设计

张培仁 杜洪亮 等 编著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

现场总线能同时满足过程控制和制造业自动化的需求,因而这一技术逐步成为工业数据总线最为活跃的领域之一。CAN 现场总线的多主方式、报文重发、极低的误码率等特性在大型远程监控系统中被广泛应用。

本书全面介绍了大型远程监控网络的发展、CAN 技术概述、CAN 控制结构、PC 机与 CAN 总线的接口、CAN 总线底层模块设计等内容,并设计了一个 CAN 总线通信平台来对 CAN 总线性能进行全面的测试,从而使读者能全面了解 CAN 总线系统上层软件和相关数据库的开发。

本书适合相关专业本科生、研究生作为教材使用,对相关研究者及设计人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

CAN 现场总线监控系统原理和应用设计/张培仁,杜洪亮等编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2011. 6

ISBN 978-7-312-02827-4

I. C… II. ① 张… ② 杜… III. 总线—监控系统—高等学校—教材 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 092387 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥晓星印刷有限责任公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 23
字数 477 千
版次 2011 年 6 月第 1 版
印次 2011 年 6 月第 1 次印刷
印数 1—2000 册
定价 58.00 元

前 言

现场总线能同时满足过程控制和制造业自动化的需求,因而这一技术逐步成为工业数据总线最为活跃的领域之一。现场总线的应用已成为工业控制总线的热点。CAN 现场总线以其多主方式、报文自动过滤重发、极低的误码率和高通信速率等特性,在各种低成本、高抗干扰的多机远程监控系统中得到广泛应用。正是由于它的卓越性能和相对较低的成本,使它在各种现场总线控制系统的竞争中占有重要地位。

大型远程 CAN 总线控制网络的设计涉及计算机硬件、计算机软件、模拟电路、通信技术、传感器技术等多个学科,需要设计者具有多方面的专业知识。但是只要坚持理论与实际相结合,就一定能够设计出很好的应用系统。

中国科学技术大学嵌入式系统与控制网络实验室从事嵌入式系统教学与科研工作已有 30 多年历史,从事现场总线控制系统研究也有 10 年历史。本实验室教师、工程师和研究生,在已有的教材基础之上重新编著此书。在编著过程中,做了大量的修改和增删,把 5 年来的最新科研成果编入本书。编著此书一方面是我们室近年来科研教学的总结,另一方面也为今后开设相关课程做好了准备。

在长期计算机与自动控制技术教学过程中,经常遇到学生学习过程中出现“一看就懂、一放就忘、一用就错”的问题。本书在编著过程中尽可能使读者知其然也知其所以然。毛主席在《实践论》中曾写到:“感觉到了的东西,我们不能立刻理解它,只有理解了的东西才能更深刻地感觉它。”读者只有深刻理解 CAN 现场总线是如何多主竞争、仲裁和同步的,又如何工作的,以及各种芯片、电路、系统设计者的思路和设计方法,才能使用好、应用好 CAN 现场总线系统,也只有这样才能较好地完成大型远程监控系统程序、算法和硬件的设计。

本书以 C8051F040 系列微控制器为核心设计大型远程监控系统。C8051F040 系列是目前 8 位机中功能最齐全、性能最优秀的一种,它具有大量 SOC 片上系统,并具有完整的模拟信号和数字信号混合系统。

本书的编著得到了新华龙电子有限公司的大力支持和帮助,他们提供了开发机和相应芯片,并提供了大量资料。该公司大学部梁金成工程师为本书的编写做了大量工作。特此感谢新华龙电子有限公司的同行们。

本书是本室几个科研项目的总结,参加这些项目的研究者有许波、王津津、杜洪亮、王亮、颜进军、凌来根、崔军辉、赵松、潘可、杨一敏、张韶全、姜亮、段雄、高飞、

史久根、黄捷等同志。

全书由张培仁教授策划、总结审定、校准。各章节编写人员如下:第 1、2、3、5 章由张培仁执笔,第 4 章由张培仁和杜洪亮共同执笔,第 6 章由杜洪亮和王津津共同执笔,第 7 章由王亮、许波、张培仁共同完成,第 8 章由张培仁、杜洪亮、王亮共同完成,第 9、10 章由赵松、张思亮、蒋渊、潘可共同完成。

本书所有程序、电路设计都是经过验证和调试过的,并在教学和科研中使用过。

由于时间紧促,作者水平有限,书中难免存在不足和错误之处,敬请广大读者、同行批评指正。

张培仁

2010 年 6 月于合肥

目 录

前言	(i)
第 1 章 大型远程监控网络系统的发展	(1)
1.1 控制网络的发展简史	(1)
1.2 现场总线的发展	(2)
1.3 几种主要的控制总线	(2)
1.4 CAN 总线与其他总线性能的比较	(5)
1.5 应用实例	(8)
第 2 章 控制器局域网技术	(15)
2.1 控制系统的发展和技术特点	(15)
2.2 控制器局域网	(19)
第 3 章 C8051F040 系列单片机	(28)
3.1 C8051F 系列单片机总体体系结构	(28)
3.2 CIP-51 微控制器	(30)
3.3 存储器组织	(32)
3.4 特殊功能寄存器(SFR)	(37)
3.5 Flash 存储器	(39)
3.6 外部数据存储器和片内 xRAM	(45)
3.7 时钟系统	(51)
3.8 复位电路	(59)
3.9 中断系统	(63)
3.10 电源管理	(68)
3.11 JTAG(IEEE 1149.1 协议)原理	(71)
第 4 章 C8051F 系列 CAN 总线通信设计	(72)
4.1 CAN 控制器组成和工作模式	(73)
4.2 CAN 寄存器	(79)
4.3 CAN 特殊功能寄存器的详细说明	(82)
4.4 CAN 的应用	(95)
4.5 传输对象的配置	(98)

4.6	更新传输对象	(98)
4.7	接收对象的配置	(99)
4.8	接收消息的处理	(99)
4.9	先入先出 FIFO 缓冲器的设置	(100)
4.10	利用 FIFO 缓存的消息的接收	(100)
4.11	中断的控制	(101)
4.12	位时序的配置	(103)
4.13	CAN 综合实例	(108)
第 5 章	PC 机与 CAN 总线接口设计	(126)
5.1	PC 机并行口 EPP 模式与 CAN 总线接口设计	(126)
5.2	带 USB 接口的主机节点设计	(135)
第 6 章	CAN 总线通信平台和实验设计	(150)
6.1	多机测试平台组建	(150)
6.2	远程通信网络搭建及实验设计	(152)
6.3	多主通信方式原理分析及实验结果	(162)
第 7 章	CAN 总线底层智能模块设计	(169)
7.1	水利工程中常用传感器介绍	(169)
7.2	测电阻型传感器的智能模块设计	(175)
7.3	底层测量主程序设计	(194)
7.4	振弦式传感器智能模块设计	(199)
7.5	外加 CAN 总线控制器的智能模块设计	(218)
7.6	在线实时自编程的原理和实现方案	(227)
第 8 章	CAN 总线中继器设计	(232)
8.1	双 MCU 的 CAN 总线中继器概述	(232)
8.2	双 MCU 的 CAN 总线中继器硬件设计	(234)
8.3	双 MCU 的 CAN 总线中继器软件设计	(239)
8.4	单 MCU 的 CAN 总线中继器硬件电路原理	(254)
8.5	单 MCU 的中继器程序设计	(260)
第 9 章	上层数据库和开发语言	(291)
9.1	SQL Server 2000 数据库管理系统特点	(291)
9.2	VC++ 数据库开发的特点	(292)
9.3	ADO 技术介绍	(294)
9.4	ADO 技术访问数据库在 VC++ 中的具体实现	(300)
9.5	数据库管理	(303)

9.6 数据库报表生成	(303)
第 10 章 上层人机交互	(307)
10.1 人机交互功能描述	(308)
10.2 人机交互整体设计	(308)
10.3 用户管理设计	(309)
10.4 出线平台图管理设计	(312)
10.5 出线图上传感器节点的管理	(316)
10.6 串口管理设计	(320)
附录 A C8051F040 片内特殊寄存器 SFR	(321)
附录 B C51 库函数	(327)
附录 C 错误信息	(335)
C.1 致命错误	(335)
C.2 语法和语义错误	(337)
C.3 L51 连接定位器使用错误提示	(350)
参考文献	(359)

第 1 章 大型远程监控网络系统的发展

1.1 控制网络的发展简史

自动控制系统,随着计算机技术的出现和发展,从传统的模拟控制系统发展到计算机数字控制系统。而随着网络技术的不断发展以及微控制器芯片技术的发展,控制系统又从集中式控制逐渐向分散式控制发展,并将网络引入到控制系统中,组成网络控制系统,实现了控制系统的全数字化、网络化。

20 世纪 50 年代开始出现计算机控制系统。一开始,由于技术的限制,计算机控制系统仍然离不开模拟控制器。直到直接数字控制(DDC)系统发展起来以后,这种情况才得到改变。在 DDC 系统中,计算机取代了模拟控制器,计算机的输出不再经由模拟控制器间接地作用于被控对象,而是直接地经 D/A 转换作用于被控对象。

随着控制系统规模不断扩大,以及计算机技术的飞速发展,分布式计算机系统成为可能,分布式控制系统(DCS)应运而生。在 DCS 中,几台相互关联的计算机连接到同一个网络,形成分布式控制系统。但是,DCS 中控制节点之间的关联是松散的,因为实时的控制任务,如对象采样、计算以及执行,是在单个的处理站点中完成的,只有一些开关量信息、监控信息、报警信号等是通过网络传送的,所以,DCS 不是完全意义上的网络控制系统。

现场总线的出现促进了现场设备的数字化和网络化,并且使现场控制的功能更为强大。这一改进带来了过程控制系统的开放性,使系统成为具有测量、控制、执行和过程诊断综合能力的控制网络。

网络控制系统(NCS, Networked Control System),即网络化的控制系统,又称为控制网络。在网络控制系统中,实时的传感器数据以及控制数据都是通过网络传送的,网络节点间相互协调工作,共同完成控制任务。网络控制系统的固有特点就是对象输入、对象输出、控制器输入等信息在传感器、控制器和执行器等网络部件之间的数据交换完全是通过网络进行的。

1.2 现场总线的发展

1. 现场总线的定义

现场总线(Fieldbus)是安装在生产过程区域的现场设备/仪表与控制室内的自动控制装置/系统之间的一种串行数字式多点双向通信的数据总线,其中“生产过程”包括断续生产过程和连续生产过程两类。或者说现场总线是以单个分散的数字化、智能化的测量和控制设备作为网络节点,用总线相连接实现相互信息交换,共同完成自动控制功能的网络系统与控制系统。

2. 现场总线技术产生的意义

现场总线技术是实现现场级控制设备数字化通信的一种工业现场层网络通信技术,是一次工业现场级设备通信的数字化革命。现场总线技术可使用一条通信电缆连接现场设备(智能化、带有通信接口),用数字化通信代替 $4\sim 20\text{ mA}/24\text{ VDC}$ 信号,完成现场设备控制、监测、远程参数化等功能。

基于现场总线的自动化监控系统采用计算机数字化通信技术,使自控系统与设备加入工厂信息网络,构成企业信息网络底层,使企业信息沟通的覆盖范围一直延伸到生产现场。同时使传感器信号数字化,避免了用微弱模拟信号进行远程传递易受到环境干扰的问题。现场总线是工厂计算机网络到现场级设备的延伸,是支撑现场级与车间级信息集成的技术基础。

现场总线是公开、开放的系统,有统一格式,各个公司可以互联、互接。这对于大型远程复杂控制系统很有意义。

1.3 几种主要的控制总线

从世界范围来看,现场总线技术已经进入一个蓬勃发展的时期,加上当前工业控制领域多种控制网络、多种总线技术的共存局面,广泛应用的现场总线技术就有十多种,而已经发展成熟应用广泛的其他工业总线如 RS-485/422、RS-232、SPI、IEEE 1394、I²C 总线等,也各具特色,大量应用在各种不同的领域,显示了较强的生命力,因此在现场总线标准统一与完善之前,在设计实际的控制系统时,应对领域内各种常用的控制总线进行分析与比较,合理地进行选择和综合应用。

以下对工业控制领域常见的几种总线,给出简要的介绍和比较。

1.3.1 CAN 总线

CAN 是控制器局域网(Controllor Area Network)的简称,最早由德国 Bosch 公司推出,用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信。其总线规范现已被 ISO 国际标准组织定为国际标准。由于得到了 Motorola、Intel、Philip、Siemens、NEC 等公司的支持,广泛应用于离散控制系统。

在国内,主要应用的三种现场总线所占市场份额分别为:CAN 总线超过 60%,LON 总线约 30%,基金会现场总线(FF)接近 10%。

总结 CAN 总线的优点,突出表现在结构简单、稳定性高、抗干扰能力强、扩展性和开放性好以及成本低廉等方面。目前正在向实现较为复杂的高级应用的方向发展。对 CAN 总线更深入的了解请参见第 2 章。

1.3.2 PROFIBUS 总线

PROFIBUS 是德国国家标准 DIN9245 和欧洲标准 EN50170 的现场总线标准。由 PROFIBUS - DP、PROFIBUS - FMS、PROFIBUS - PA 组成了 PROFIBUS 系列。DP 型用于分散外设间的高速数据传输,适合于加工自动化领域的应用。FMS 意为现场信息规范,适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等。而 PA 型则是使用于过程自动化的总线类型,它遵从 IEC1158 - 2 标准。该项技术是由西门子公司为主的 13 家德国工业企业和 5 家科研机构联合制订的标准化规范。采用了 OSI 模型的物理层、数据链路层。FMS 还采用了应用层。传输速率为 9.6 Kbps~12 Mbps,最大传输距离在 12 Mbps 时为 100 m,1.5 Mbps 时为 400 m,可用中继器延长至 10 km。其传输介质可以是双绞线或光缆。最多可挂接 127 个节点。可实现总线供电与本质安全防爆。

1.3.3 LON 总线

LonWorks 技术由美国 Echelon 公司开发研制,并由 Echelon 与 Motorola、东芝公司共同倡导,于 1990 年正式公布。它采用 ISO/OSI 模型的全部 7 层通信协议,采取了面向对象的设计方法,通过网络变量把网络通信设计简化为参数设置;通信速率从 300 bps 到 1.5 Mbps 不等,直接通信距离可达 2700 m(78 Kbps,双绞线);支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外、电力线等多种通信介质,并开发了相应的本质安全防爆产品,被誉为“通用控制网络”。

LonWorks 技术所采用的 LonTalk 协议被封装在称为 Neuron 的神经元芯片中而得以实现。Neuron 芯片中有 3 个 8 位 CPU,其中一个用于完成开放互联模型中的第 1、2 层(即物理层、数据链路层)功能,称作媒体访问控制处理器,实现介质访问的控制与处理;第二个 CPU 用于完成第 3~6 层功能,称作网络处理器,进行网络变量的寻址、处理、背景诊断、路径选择、软件计时、网络管理,并负责网络通信

控制、收发数据包等;第三个 CPU 用于执行操作系统服务和用户代码,称为应用处理器。此外,芯片中还具有存储信息缓冲区,用以实现各 CPU 之间的信息传递,并作为网络缓冲区和应用缓冲区。

Echelon 公司的技术策略是鼓励各 OEM 开发商运用 LonWorks 技术和 Neuron 神经元芯片,来开发自己的应用产品。据称目前已经有 2600 多家公司在不同程度上卷入了 LonWorks 技术,1000 多家公司已经推出了 LonWorks 产品,并进一步组织起 LonMARK 互操作协会,开发推广 LonWorks 技术与产品。LON 总线已经被广泛应用于楼宇自动化、家庭自动化、保安系统、办公设备、交通运输、工业过程控制等行业。另外,在开发智能通信接口、智能传感器方面,Neuron 神经元芯片也有其独特的优势。

LonWorks 技术的优点,主要在于协议高度集成、支持多种串行传输介质、提供完整的硬件和软件开发平台,使得 LON 总线的应用开发非常便捷;缺点则是结构复杂、价格仍较为昂贵,不适用于注重成本和简单实用的工业控制领域,并且开发者只能按照系统提供的开发模块进行开发,在一定程度上限制了 LON 总线的应用。LON 总线按每个节点交知识产权的费用。

1.3.4 基金会现场总线

除了 CAN 总线和 LON 总线外,基金会现场总线 FF(Foundation Fieldbus)也是实际应用较为广泛的一种现场总线技术。它在过程自动化领域得到广泛支持,具有良好的发展前景。其前身是以美国 Fisher - Rosemount 公司为首,联合 Foxboro、横河、ABB 等 80 多家公司制定的 ISP 协议,和以 Honeywell 公司为首,联合欧洲等地的 150 多家公司制定的 World FIP 协议。屈于用户的压力,这两大集团于 1994 年 9 月合并,成立了现场总线基金会,致力于开发出国际上统一的现场总线协议。

FF 总线以 ISO/OSI 开放系统互联模型为基础,取其物理层、数据链路层、应用层为 FF 通信模型的相应层次,并在应用层上增加了用户层。用户层主要针对自动化测控应用的需要,定义了信息存取的统一规则,采用设备描述语言规定了通用的功能块集。由于这些公司是该领域自控设备的主要供应商,对工业底层网络的功能需求了解透彻,也具备足以左右该领域自控设备发展方向的能力,因此由他们组成的基金会所颁布的现场总线规范具有一定的权威性。

FF 总线分低速 H1 和高速 H2 两种通信速率。其中 H1 的传输速率为 31.25 Kbps,通信距离可达 1900 m(可加中继器延长),可支持总线供电,支持本质安全防爆环境。H2 的传输速率可为 1 Mbps 和 2.5 Mbps,通信距离分别为 750 m 和 500 m,物理传输介质支持双绞线、光缆和无线发射,协议符合 IEC1158 - 2 标准,物理媒介的传输信号采用曼彻斯特编码。

基金会现场总线的主要技术内容,包括 FF 通信协议,用于完成开放系统互联

模型中第2~7层通信协议的通信栈(Communication Stack),用于描述设备特征参数属性以及操作接口的DDL设备描述语言、设备描述字典,用于实现测量、控制、工程量转换等应用功能的功能块,实现系统组态、调度、管理等功能的系统软件技术,以及构筑集成自动化系统、网络系统的系统集成技术。

1.3.5 RS-232/422/485 总线

RS-232、RS-422与RS-485都是串行数据接口标准,最初都是由电子工业协会(EIA)制定并发布。RS-232在1962年发布,命名为EIA-232-E,作为工业标准,以保证不同厂家产品之间的兼容。

RS-422由RS-232发展而来,它是为弥补RS-232之不足而提出的。为改进RS-232通信距离短、速率低的缺点,RS-422定义了一种平衡通信接口,将传输速率提高到10 Mbps,传输距离延长到4000英尺(速率低于100 Kbps时),并允许在一条平衡总线上连接最多10个接收器。RS-422是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输规范,被命名为TIA/EIA-422-A标准。

为扩展应用范围,EIA又于1983年在RS-422基础上制定了RS-485标准,增加了多点、双向通信能力,即允许多个发送器连接到同一条总线上,同时增加了发送器的驱动能力和冲突保护特性,扩展了总线共模范围,后命名为TIA/EIA-485-A标准。由于EIA提出的建议标准都是以“RS”作为前缀,所以在通信工业领域,仍然习惯将上述标准以“RS”作前缀称谓。

RS-232、RS-422与RS-485标准只对接口的电气特性做出规定,而不涉及接插件、电缆或协议,在此基础上用户可以建立自己的高层通信协议。因此在视频界的应用,许多厂家都建立了一套高层通信协议,或公开或厂家独家使用。

1.4 CAN总线与其他总线性能的比较

CAN总线(现场总线)是一种全分散、全数字化、标准化、规格化、全透明的总线,不同传感器、不同设备、不同公司网络系统都可以与现场总线相连接。传感器输出已经被数字化,再经过模块发送到CAN总线上。各种现场总线都有大量校验码,可以在通信过程中查错、纠错。现场总线是多微处理器系统,每个模块都是智能的,可以很好地处理总线竞争、同步等问题。这样系统可靠性就大大提高了。CAN总线与DCS、PCL系统性能的比较如表1.1所示。

表 1.1 CAN 总线控制系统与其他控制系统的比较

比较内容	现场总线	DCS 系统	PCL 系统
数字化	全数字化	半数字化	半数字化
开放性	全开放	封闭	半封闭
硬件分散型	全分散	集中和分散集合	集中
抗干扰	极强(误码率 10^{-11})	较强(误码率 10^{-7})	较强(误码率 10^{-7})
通信协议硬化	全硬化	软件自定义	软件自定义
电缆	2 条	众多	众多
微信号损失	很小	较大	较大
校验方式	硬件 CRC	奇偶	奇偶
通信速率	1 Mbps	100 Kbps	—
有无控制器	无	有	无
通信距离	10 km	1 km	50 m
软件分散程度	分散	集中	集中
与以太网接口	容易	较容易	较容易
总线方式	多主,主从	主从	集中
接收和发送缓冲区大小	136×32 位	2×8 位	2×8 位
系统中增加模块方式	即插即用	上位机指定,人工完成	上位机指定,人工完成
通信出错定位	硬件定义	无此功能	无此功能
与上位机接口	USB,并行口	RS-232	RS-232
总线短路、断路的影响	自行关闭脱离	损坏系统	损坏系统

CAN 现场总线监控系统比目前以 RS-485 为主的 DCS 系统在全数字化、全开放、全分散方面有很大优势:

(1) 在强噪音环境下,CAN 现场总线的误码率比 RS-485 总线低。CAN 总线发送、回收电平都相互校验,每帧有响应位。硬化 CRC 校验比 RS-485 的奇偶校验要可靠得多。有插入位校验,总线在短路或断路时能很快检测出来,从而可及时地关闭与总线的连接,保护各节点。总线在有节点损坏时,不会导致整个总线停止工作。CAN 总线也有报文格式校验、报文响应校验,因此 CAN 总线上的各个节点能够检测到总线每帧上 5 个以下的随机分布错误、小于 15 个的突发错误以及任

何奇数个数据错误。误码率比 RS-485 总线(DCS)小几个数量级。同时通信出错可以精确定位。

(2) CAN 总线无控制器,由 3 层硬件完成通信协议,并有较大的 FIFO 缓冲区,这样就比 DCS 系统(RS-485)更加可靠。总线工作方式,可以主从,也可以多主。监控系统实时报警响应速度高于 DCS 系统。总线的拓扑结构灵活,可以组成树形或环形,这样通信距离可以更远,更多节点接入可以在一个系统内被集成。

(3) 系统开放性好,有利于不同系统的互联,也有利于原来系统的扩充。所有格式定义都是公开的,不同公司的 CAN 模块都可以接入。

水利专用 CAN 总线与通用 CAN 总线性能的比较如表 1.2 所示。

表 1.2 水利系统高边坡专用 CAN 总线与工业通用 CAN 总线的比较

项 目	水利系统高边坡专用 CAN 总线	工业通用 CAN 总线
测量精度	可达万分之一	二千分之一
传感器测量辅助装置	有可变恒流源、恒压源	无
每一模块测量传感器数量	16 支	1~2 支
CAN 总线条数	多条,可以组成树形网络	1 条
设计思路	按水利水电系统传感器类型设计每一个通道	按 I/O、A/D、D/A 功能设计
模块与传感器最远的距离	最高可达 500 m	几米以内
成本价格	低	多种模块测量一支传感器
与传感器的接线方式	4 线、5 线制	1 线、2 线制
使用模块数量	少	多
防雷击模块	通信、传感器、电源都有	无

注:通用 CAN 总线主要以台湾研华和北京华控自动控制公司的通用 CAN 总线为例。

通用 CAN 总线和专用 CAN 总线在以下方面有所区别:

(1) 专用边坡 CAN 总线监控系统比通用 CAN 总线所用模块数量少一半,就可以完成相同任务。

(2) 通用系统用恒流模块、恒压模块、A/D 转换模块、D/A 转换模块、I/O 模块组成一个传感器通道,这样外部连线较多,这是因为通用 CAN 模块不是专门为水利系统设计的,一般要测物理量距离只有几米,所以传感器测量使用 2 线制或 1 线制,而边坡传感器与测量模块距离远(100 m)并且远近不定(决定于地形、传感器与测量模块的距离),只能采用 5 线制或者 4 线制,这样使用通用 CAN 模块进行测量就将造成较大的随机误差,通常很难达到万分之一的精度。因此通用 CAN 总线模块测量精度和实用性不如专用 CAN 总线模块。

(3) 通用 CAN 总线经常是用一条总线或用中继器延长的一条总线组成测控

系统,专用高边坡 CAN 总线则可以组成树形或环形结构,这样测量范围、速度以及可接入节点数将大大提高。

(4) 通用 CAN 总线一般用于工业控制,大部分都是在室内工作,所以没有防雷击的措施;通用 CAN 总线模块是为一般工业过程的测量所设计的,没有边坡传感器所需要的各种校准、单位转换、(为消除温度影响而设计的)温度补偿算法等软件。这些工作只能在上位机上去做,软件可靠性不如专业边坡 CAN 总线模块。

1.5 应用实例

1.5.1 水电站高边坡监控系统设计

1. 边坡安全监测系统的意义和现状

我国大约有 5000 个中小型大坝,水利资源利用率约 20%,而在西方很多国家已经达到 90%以上。目前我国还有一大批正在建设的和准备建设的水电站。大坝失事不仅将影响工程的正常施工和运营,还会造成人员财产的损失,在某些情况下甚至会导致社会性灾难。安全监测对大坝的设计、施工、运行有着很重要的作用,而高边坡的安全监测在整个大坝(主要是深山峡谷中建设的大坝)安全监测中占有重要的地位。因此,设计一套边坡安全监测系统有着非常重要的意义,主要表现在:

(1) 高边坡的特征是涉及的区域大、边坡高陡,完全依靠人工监测费时费力,依靠边坡安全监测系统则可以很好地解决这方面的问题。

(2) 采用普通人工观测时,观测人员的责任心及工作经验都将影响监测结果,不可避免地会出现人为误差或错误,可能会对监测资料的后期分析带来不必要的误导和麻烦。另外,高边坡人工监测周期太长,根据以前的合同规定一般 10 天左右循环测量一遍,而存在边坡稳定问题时,也许边坡失稳仅仅在三五天内就能发生,按照普通人工观测的周期判断,普通人工观测可能无法及时捕捉边坡的变位信息,因而无法及时起到预警预报的作用,可能会为工程造成巨大的损失。这两个问题实际上就是数据的准确性问题和及时性问题,边坡安全监测系统在这两方面都具有很大的优势。

(3) 对高边坡实施人工监测时,监测人员自身的安全问题比较突出。

(4) 安全监测系统能保证监测数据的完整性,这将为今后的设计施工提供可靠的理论基础。

(5) 一座大坝一般可存续 100 年以上,在运行期内,遇到问题(地震、水灾、战争等)时,需要对大坝进行及时分析从而采取相应措施,只有精确的监测数据(自动

化监测)才能提供实时分析、评估以及最优决策支持。

目前我国正在深山峡谷地区建设一批水电站,高边坡的稳定问题是这些工程所面临的共同技术难题,安全监测是掌握边坡稳定状况的有效手段。但是,高边坡监测和常规的大坝监测相比有其特殊性,实现自动化监测存在技术上需要克服的难题,例如拉西瓦大坝的 800 多个传感器分布在方圆 10 km 以内,要进行实时监控相当困难。

2. 边坡安全监测系统的要求

以青海拉西瓦水电站大坝高边坡安全监测项目为例介绍边坡安全监测系统的要求。拉西瓦水电站右岸高边坡的相对高差在 400 米以上,高边坡的工作状态稳定性将直接影响大坝施工、进水口施工的安全以及缆机的正常运行。因此,快速、准确地了解、掌握右岸高边坡变形特性显得尤为重要。对现有监测资料的分析表明,边坡位移受到开挖爆破和降水等环境量的影响较大。特别在坝区施工高峰期或环境条件十分恶劣时,右岸高边坡安全监测采用自动化监测显得更为重要和必要。

根据西北水利勘探设计院的规划报告,监测系统主要要具备以下几个功能和特点:

- (1) 监测数据的自动采集和存储;
- (2) 监测数据的计算分析、处理与系统整编;
- (3) 对边坡进行实时监控;
- (4) 计算机远程通信;
- (5) 自检及系统硬件故障报警;
- (6) 多功能硬、软件,且能兼容不同类型仪器;
- (7) 具有人工观测接口和外部数据输入接口。

根据以上实施原则,拉西瓦水电站自动化监测系统应具有数据采集与传输自动化、信息管理自动化、辅助决策智能化等功能,能满足动态监测、实时馈控的要求,并能综合分析枢纽工程安全状况,为反馈设计提供基础信息,为枢纽运行管理和工程调度(运用)决策提供客观、科学、可靠的依据,为充分发挥工程效益提供保证。

1.5.2 大型远程高边坡监控网络的组成结构

水利系统远程监控网络拟采用三级网络:主网(首级网),子网(次级网)和三级网,网络结构见图 1.1。

1. 主网结构及功能

主网控制连接中心位于厂房安全监测控制中心内,网络拓扑采用总线式,网络连接介质采用全数字光纤,网络协议采用 TCP/IP 协议。

主网主要构成包括中央控制室、光纤数字网络和监控子站。