

摘 要

人造瀑布是把现代控制技术应用于是人造瀑布，通过现代控制技术把瀑布和灯光、音乐紧密结合而生成的一种新的艺术形式。随着现代城市建设的发展，人造瀑布已经成为现代都市的重要景观。

本文结合某大型人造瀑布的工程项目的的设计，采用基于 CAN 总线的方法，构建了人造瀑布的控制系统。采用西门子公司 S7-200 作为主控模块，以 SJA1000 作为 CAN 总线控制器，通过 CAN 总线实现主控模块与驱动模块、检测模块之间的通信，实时检测 120 个控制信号点的动作状态并反馈回主控模块，经判断后，按照规定的逻辑顺序进行控制，有效地克服各驱动模块的误动作。对液位和流量等变量实现远程实时检测，通过 CAN 总线以通信方式实现调节、联锁和报警。主控模块与上位机通过串行通信接口相连，采用 VC++6.0 开发平台进行上位机程序开发，实现了控制系统的综合功能。在完成整体设计计划之后，采用软硬件协同方式进行系统设计，最后通过系统调试，完成了设计。

本文设计的基于 CAN 总线的人造瀑布控制系统具有数据的远程传输功能，实现了实时的远程监控和故障诊断，提高了系统的安全特性，降低了制造成本，在实际运行中取得了良好的效果。

关键词：人造瀑布，工程设计，控制系统，CAN 总线，远程监控

ABSTRACT

Artificial waterfall that make use of modern control technology for artificial waterfall is a new style artistic form which combines music and light and with waterfall tightly through modern control technology. With the development of city construction, artificial waterfall become an important sightseeing spot of the modern city.

Linking with a designation project of a certain artificial waterfall, we focus this paper on the control system and propose the artificial waterfall control system based on CAN bus technology. A S7-200 PLC of Siemens is selected as main control modular, and SJA1000 is selected as CAN bus controller, communication between main control modular and drive modular and detection modular is achieved by CAN bus, so it can real-time detect the state of the 26 drive modular, then sent the information back to main control modular, the control process is in accordance with the prospective logical order to overcome the wrong operation of drive modular, and the liquid level and flow to carry out regulation and remote detection and alarm, the main control modular links to host computer via serial communication interface and VC++6.0 is used to develop programs of host computer, then the comprehensive function of is realized. A concerted method of hardware and software is used to design this project, totally finished the design after system debugging.

The proposed artificial waterfall control system based on CAN bus technology have remote data transmission function, can realize remote monitoring

and fault diagnosis, also can reduce cost of the production, the designed equipment yielded highly desirable results is practical operation.

KEYWORDS: Artificial Waterfall, Engineering Project, Control System, CAN Bus

学位论文版权使用授权书

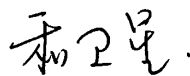
本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权江苏大学可以将本学位论文的全部内容或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保 密 ☐， 在 年解密后适用本授权书。
本学位论文属于
不保密 ☒。

学位论文作者签名：



导师签名：



签字日期： 2009年12月20日

签字日期： 2009年12月20日

独 创 性 声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容以外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：孙琦

日期：2009年12月20日

第一章 绪 论

1.1 人造瀑布系统现状及发展趋势

自古以来作为景观设计中的重要元素,因具有极强的可塑性,可与周边环境配合或与其他艺术品组合,创造出独具风格的作品,水体景观已成为园林中独特的风景。因存在的形态不同,水体景观可分为4类:喷水、跌水、流水、池水。兼具因压力而向上喷,形成各种各样的喷泉、涌泉、喷雾,以及因重力而下跌,高程突变,形成各种各样的瀑布、水帘等双重特点的人造瀑布是现代城市水体景观中的一个重要组成部分。现代人造瀑布系统集水体、音乐、灯光等于一身,引入智能控制概念,构成了一个多干扰,大滞后的非线性控制系统。

1.1.1 人造瀑布系统现状

人造瀑布系统等水景工程,是一项综合性工程,需要园林、建筑、结构、雕塑、自控、电气、给排水、机械等方面专业参加,才能做到臻善臻美。其中起决定性作用的是自控部分,国内外现有的人造瀑布系统主要有以下几种类型^[1]:

1、开关控制方式

该方式是一种较为原始的简单控制方式。作为程控系统,该方式运作下的人造瀑布,需要预先设计好水体造型变换、灯光切换、音乐变化。一般以一首歌曲为核心配套相应控制程序,呈现声、光、电的配合变化。该方式设计简单、水体可高度配合音乐、灯光,现场表现效果最好。但由于只有预编辑好控制效果,易出现审美疲劳现象,一旦采用新的歌曲、灯光,就会产生音乐、灯光与瀑布水型不能和谐统一的现象,失去了人造瀑布的可观赏性,此外该方式设计周期长、工作量大、效率低下。国内现有的人造瀑布系统多属于此方式。

2、音频控制方式

音频控制方式是通过实时采集播放机内的音频模拟信号,经计算机处理,根据音乐的音量、频率、节拍等控制瀑布水型。该方式适用性广,自由度高,应用简便,只需更换不同乐曲即可变换瀑布造型。但该方式目前处于起步阶段,只能根据音量或者频率来选择水型,没有完全综合音乐中音量、音色、节拍、节奏及旋律等有关音乐表现力的要素来进行控制,且由于阀门、水泵的机械特性和管道特性的原因,通过采集音乐模拟信号来实时控

制比较难以解决控制水型滞后的问题，所以控制效果并不理想。

3、可编辑水型程控方式

该控制方式综合前两种控制方式的优点，首先由控制软件的开发人员设计出多种基本水型，然后提供一个友好的人机交互界面让用户综合软件对音乐音频的分析结果以及对音乐表现力和灯光的理解来设计整首歌曲的瀑布造型。对于大型人造瀑布，目前倾向于向可编辑水型程控方式的方向发展。该方式可以满足水型效果好又可以适用不同音乐和灯光的要求。

1.1.2 人造瀑布系统发展趋势

近些年来中国基础建设蓬勃发展，促进了城市水体景观的建设与发展。人造瀑布控制系统的社会效益巨大，但现有的人造瀑布系统运行成本高且经济效益差^[2]。现代人造瀑布控制系统采用计算机智能控制日益普遍。应用计算机控制技术可以实现人造瀑布景观的全自动监控，提高景观表现力，更可合理使用和配置水体设施，具有非常现实的意义。

国内现有人造瀑布系统还较落后，基本仍是手工操作，鲜有变化，但有些城市水体景观设计已引进全部或局部计算机控制，取得了一定的经验^[3-5]。所以基于计算机控制系统的能自动识别信号、水型灯光智能化、乐曲分类化的人造瀑布系统是我国水体景观设计行业发展的必然趋势^[6]。

1.2 实现人造瀑布自动控制系统的技术背景

1.2.1 现场总线发展概况

在工业生产自动化、信息管理网络化日益成为当今工业企业提高自身生产力的必备要素之时，现场总线技术也开始进入了工业测控技术应用的大舞台^[7,8]。现场总线技术的出现不是偶然的，是经历了一个从模拟信号到数字信号，从集中控制到分散控制，从集散控制系统（DCS）到现场总线控制系统（FCS）的过程^[9-11]。

从 70 年代开始，传送模拟信号的传统电动仪表逐渐暴露出其自身的缺点。这是由于模拟信号变化缓慢，抗干扰能力差，提高自身的计算速度与精度的开销、难度都较大。所以，人们开始用数字信号取代模拟信号，用一台计算机取代控制室的几乎所有仪表，出现了集中式数字控制系统。但当时计算机可靠性差，计算机的一个故障会造成所有控制回路瘫痪、生产停产的严重后果，这种集中系统结构很难为生产过程接受。

随着计算机可靠性的提高,价格的大幅度下降,出现了数字调节器、可编程逻辑控制器(PLC)以及由多个计算机递阶构成的集中、分散相结合的集散控制系统,这就是 DCS 系统。在 DCS 系统中,测量变送仪表一般为模拟仪表,因而它是一种模拟数字混合系统。它在功能、性能上可实现装置级、车间级的优化控制^[12,13]。但是,DCS 并不是完全意义上的分散控制系统,I/O 和控制站都集中在中央控制室,现场仪表通过一对一的 4~20mA 电流信号与上位机传递信息。而且在 DCS 系统形成的过程中,由于受计算机系统早期存在的系统封闭这一缺陷影响,各厂家产品自成系统,不同厂家设备不能互连,难以实现互换与互操作,组成更大范围信息共享的网络系统存在很多困难。

随着微处理器与计算机功能的不断增强和价格的急剧降低,计算机和计算机网络系统得到迅速发展。自封闭式的集散系统已使自动化系统成为“信息孤岛”。要实现整个企业的信息集成,要实施综合自动化,就必须设计出一种能在工业现场环境运行的、性能可靠的、造价低廉的通信系统,形成工厂底层网络,完成现场自动化设备之间的多点数字通信,实现底层现场设备之间以及生产现场与外界的信息交换。现场总线控制系统就是在这种实际需求的驱动下应运而生。

作为过程自动化、制造自动化、楼宇、交通等领域现场智能设备之间的互连通信网络,现场总线沟通了生产过程现场控制设备之间以及其与更高控制管理层网络之间的联系,为彻底打破自动化系统的信息孤岛创造了条件。在这个新型系统中,测控任务被分散到现场设备中,所有设备都采用数字信号通过标准协议进行信息交换;总线上每一个现场设备都易于监控,设备扩充方便,系统的安装、调试、维护、升级操作简便,即使当某些现场设备离控制室过远时,也只需很少的中继器即可将其与系统相连接;系统对外开放,不同厂家的产品可完全集成在一个应用环境中;系统可以与以太网连接甚至可接入国际互连网络,使信息得到充分利用和传播^[13-16]。

从现场总线的应用前景来讲,由于现今的工业企业处在一个市场竞争异常激烈的年代,为了提高自身生产力、提高生产效率,生产工艺甚至部分生产线都会随着市场的需求而经常进行改进,这样更换、增加测量点会越来越频繁。而现场总线技术在这方面的独特优势显现无遗。同时,由于现场总线系统模块化强,各个设备设置方便,即使是对全部生产线的改进也事半功倍。

现今的工业企业又处在一个网络化、信息化的时代,传统的大量企业管理、运营工作已被企业信息管理系统所替代,为了充分利用企业生产、销售等各部门的信息流,同时大

量节省人力物力，也使得整个企业运营数字化、资源合理配置，节约大量成本。现场总线系统由于其开放性、架构模块化的特点，成为企业信息管理系统中不可或缺的一部分。^[16, 17]

1.2.2 可编程逻辑控制器发展概况

科技的不断发展，新技术的不断出现使得现代工业突飞猛进，工业控制向自动化，智能化的方向不断发展。工业控制器的发展更是出现了百家争鸣的繁荣景象，从单片机、PLC、FPGA、DSP 到工业用 PC 机，市场的驱动使得工业控制器更加完善，性能更加卓越。在众多的工业控制器中 PLC 可以被称作现代工业控制的支柱之一，在电气自动化领域独领风骚，为工业的进步社会的发展做出了巨大的贡献。

可编程控制器（Programmable Logic Controller）简称 PLC，自 60 年代末问世以来，已很快被应用到机械制造、冶金、矿业、轻工等各个领域，大大推进了机电一体化进程。可编程控制器是一种专为在工业环境而设计的数字运算操作的电子系统。它采用一种可编程序的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作指令，通过数字式或模拟式输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程^[17, 18]。可编程控制器及其有关外部设备，都按易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。

现代可编程控制器具有如下特点^[19]：

1、性价比高、抗干扰能力强、可靠性高，能在恶劣的工业生产环境中长时间稳定可靠运行。

2、编程、操作简单方便。编程语言形象直观，简单易学，不易出错，也不需要专门的计算机高级语言知识。

3、采用模块式结构，通用性好，灵活性大，系统设计、安装、调试简单，维修方便。

4、有较强的控制功能和驱动能力。现代 PLC 不仅具有逻辑运算、计时、计数、步进控制等功能，而且还能完成 A/D 和 D/A 转换、数值运算、数据处理、矩阵运算以及通信联网、生产过程监控等。已经远远超过历史意义上的可编程逻辑控制器的范畴。随着计算机技术及控制技术的不断发展，基于工业 PC 控制系统越来越完善，传统 PLC 制造厂商已经开始关注这一冲击。从近几年的发展来看，PLC 制造厂商通过采用了越来越多的新技术，使得 PLC 控制系统开辟了新的发展空间。

主要表现在：硬件制造技术不断发展。这使得处理器的速度越来越快，应用领域不断

延伸,除了传统的逻辑控制以外,PLC 已经开始向复杂的过程控制领域扩展。开放的发展模式。PLC 控制系统越来越趋进于与工业 PC 系统的融合,SOFTPLC 的发展即是一个鲜明的实例,比如西门子(SIEMENS)的 WINAC 控制系统可以和常规的 PLC 控制系统无缝结合,充分发挥工业 PC 的兼容性等方面优势的同时,又保证了 PLC 控制系统的超稳定性,使两者发挥各自的优势,以取得最大的发展空间。对于 Ethernet 及 Web 技术的支持。现代通信技术的发展极大的推动了工厂信息自动化,对于 Ethernet、Web 技术、现场总线、OPC 等通讯的支持使得 PLC 的应用更加广泛。

因此 PLC 在工业控制中的应用仍然具有广阔的发展空间。

1.3 本课题研究的内容及意义

现场总线技术具有数字化、全分散性、开放性和互操作性等特点,代表了今后工业控制网络发展的方向,是当前自动控制领域中倍受关注的技术之一。结合工业生产实际的需要,将基于现场总线的自动控制系统应用到 PLC 控制人造瀑布的控制上,不仅在学术上有着很高的研究价值,同时以先进的控制理论推动工业的发展具有较高的经济价值。本文根据北极阁飞川人造瀑布的实际案例,分析并设计了基于现场总线技术的人造瀑布自动控制系统。

首先本文在理论上对现场总线技术进行了全面的探讨和阐述,介绍了现场总线的概念、网络结构、通信模型以及五种典型的现场总线,并且尤为深入的对 CAN 现场总线进行了阐述。然后根据人造瀑布自动控制系统实际应用的需要,提出了基于 CAN 现场总线网络的通信方案。并且依据北极阁飞川人造瀑布实例给出了人造瀑布自动控制系统的总体设计方案和具体实施细节。

此外,人造瀑布泵站控制过程复杂,具有连续生产、参数检测困难、大滞后、干扰多等特点。本文针对泵站运行过程进行了控制策略的研究,采用集散控制系统,由 PLC 实现设定控制策略。本文详细阐述了基于 CAN 总线的系统通信网络组成方案,在文章的最后,对基于现场总线技术的人造瀑布调试实例做了细致的介绍^[20]。

本论文的工程性比较强,它的中心任务是针对当今自控新技术—现场总线控制系统进行研究,而且通过与人造瀑布自动控制系统工程项目的结合,将理论和实践紧密联系在一起,从而设计出一套既经济又高效的工程应用方案。

1.4 本章小结

本章首先介绍了我国城市水体景观设计实施的现状并且通过对国内外人造瀑布的比较,展望了未来我国人造瀑布水体景观的发展趋势,得出实现人造瀑布自动控制势在必行的结论。随后分析了实现人造瀑布自动化控制的技术背景,介绍了本课题研究的内容及意义。

第二章 人造瀑布控制系统的规划与设计

2.1 现场总线技术

现场总线是应用在生产现场、在微机化测量控制设备之间实现双向串行多节点数字通信的系统，也被称为开放式、数字式、多点通信的底层控制网络^[21]。现场总线是当今自动化领域技术发展的热点之一，被誉为自动化领域的计算机局域网。它的出现，标志着工业控制技术领域又一个新时代的开始，并将对该领域的发展产生重要影响^[22, 23]。

2.1.1 现场总线的概述

现场总线(Field bus)是80年代末、90年代初国际上发展形成的，用于过程自动化、制造自动化、楼宇自动化等领域的现场智能设备互连通信网络。它作为工厂数字通信网络的基础，沟通了生产过程现场级控制设备之间及其与更高控制管理层次之间的联系。它不仅是一个基层网络，而且还是一种开放式、新型全分布控制系统。这项以智能传感、控制、计算机、数字通信为主要内容的综合技术，已受到世界范围的关注而成为自动化技术发展的热点，并将导致自动化系统结构与设备的深刻变革。就现场总线一词的含义而言，现场是指工作环境处于过程设备底层一端，而总线则意味着须遵循同一技术规范的连接系统，意味着这些遵守同一规范的设备间可实现互连与互操作^[24]。作为工厂设备级基础通信网络，要求具有协议简单，容错能力强、安全性好、成本低的特点；具有一定的时间确定性和较高的实时性要求；还具有网络负载稳定、多为短帧传送、信息交换频繁等特点，因而，现场总线系统从网络结构到通信技术，都具有不同于上层高速数据通信网的特色。

现场总线控制系统FCS作为新一代控制系统，一方面，突破了DCS系统采用通信专用网络的局限，采用了基于公开化标准化的解决方案，克服了封闭系统所造成的缺陷，另一方面把DCS的集中与分散相结合的集散系统结构，变成了新型全分布式结构，把控制功能彻底下放到现场。可以说，开放性、分散性与数字通讯是现场总线系统最显著的特征。

1. 现场总线的特点^[25]

(1) 系统的开放性：开放系统是指通信协议公开，各不同厂家设备之间可进行互连并实现信息交换。现场总线开发者就是要致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。这里的开放是指对相关标准的一致性、公开性，强调对标准的共识与遵从。一个开放系统，它可以与任何遵守相同标准的其它设备或系统相连。一个具有总线功能的现场总线网络，

系统必须是开放的；开放系统把系统集成的权利交给了用户。用户可按自己的需要和考虑，把来自不问供应商的产品组成大小随意的系统。

(2) 互可操作性与互用性：这里的互可操作性，是指实现互连设备间、系统间的信息传送与沟通，可实行点对点，一点对多点的数字通信。而互用性则意味着对不同生产厂家的性能类似的设备可进行互换而实现互用。

(3) 现场设备的智能化与功能自治性：它将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成，仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能，并可随时诊断设备的运行状态。

(4) 系统结构的高度分散性：由于现场设备本身可完成自动控制的基本功能，导致现场总线已构成一种新的全分布式控制系统的体系结构。从根本上改变了现有DCS集中与分散相结合的集散控制系统体系，简化了系统结构，提高了可靠性。

(5) 对现场环境的适应性：工作在现场设备前端，作为工厂网络底层的现场总线，是专为现场环境工作而设计的，它可支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等，具有较强的抗干扰能力，能采用两线制实现送电与通信，并可满足本质安全防爆要求等。

2. 现场总线的优点

由于现场总线的以上特点，特别是现场总线系统结构的简化，使控制系统从设计、安装、投运到正常生产运行及其检修维护，都体现出优越性^[26-28]。

(1) 节省硬件数量与投资：由于现场总线系统中分散在现场的智能设备能直接执行多种传感控制报警和计算功能，因而可减少变送器的数量，不再需要单独的调节器、计算单元等，也不再需要DCS系统的信号调理、转换、隔离等功能单元及其复杂接线，还可以用工控PC机作为操作站，从而节省了一大笔硬件投资，并可减少控制室的占地面积。

(2) 节省安装费用：现场总线系统的接线十分简单，一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备，因而电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少，连线设计与接头校对的工作量也可大大减少。当需要增加现场控制设备时，无需增设新的电缆，可就近连接在原有的电缆上，既节省了投资，也减少了设计、安装的工作量。据有关典型试验工程的测算资料表明，可节约安装费用60%以上。

(3) 节省维护开销：由于现场控制设备具有自诊断与简单故障处理的能力，并通过数字通讯将相关的诊断维护信息送往控制室，用户可以查询所有设备的运行，诊断维护信

息，以便早期分析故障原因并快速排除，缩短了维护停工时间，同时由于系统结构简化，连线简单而减少了维护工作量。

(4) 用户具有高度的系统集成主动权：用户可以自由选择不同厂商所提供的设备来集成系统。避免因选择了某一品牌的产品而被“框死”了使用设备的选择范围，不会为系统集成中不兼容的协议、接口而一筹莫展。使系统集成过程的主动权牢牢掌握在用户手中。

(5) 提高了系统的准确性与可靠性：由于现场总线设备的智能化、数字化，与模拟信号相比，它从根本上提高了测量与控制的精确度，减少了传送误差。同时，由于系统的结构简化，设备与连线减少，现场仪表内部功能加强，减少了信号的往返传输，提高了系统的工作可靠性。

此外，由于它的设备标准化，功能模块化，因而还具有设计简单，易于重构等优点。

2.1.2 现场总线的网络结构

现场总线是集控制、计算机、通讯3C技术的结果。计算机与通讯的结合，产生了计算机网络。计算机网络与控制设备的结合孕育了现场总线控制系统。网络技术是现场总线控制系统的重要基础，网络化是自动化系统结构发展的方向。

1. 现场总线的网络拓扑结构

现场总线的网络拓扑结构有：环型、总线型、树型以及几种类型的混合。

环型拓扑结构中令牌环形网最为典型，其优点是延时性较好，缺点是成本较高。

总线网的优点是站点接入方便，可扩充性较好，成本较低，在轻负载的网络基本上没有时延，但在站点多、通讯任务重时，延时明显加大。缺点是时延的不确定性，对某些实时应用不利。

树型网是总线网的一种变型，其优点是可扩充性好，有较宽的频带，缺点是站点间通讯不方便。总线网的争用使它不适于实时处理某些突发事件，令牌环形网中的令牌绕环一周的时间虽然有一个上限，但在轻负载时性能不太好，可靠性比总线网差些，综合这两种网的优点，在现场总线中采用了令牌总线网，即在物理上是一个总线网，在逻辑上是一个令牌网。令牌总线网具有总线网接入方便、可靠性较好的优点，也具有令牌环形网“无冲突”和时延性好的优点。

2. 现场总线的数据操作方式^[29]

从现场总线的数据存取、传送、操作方法来分有四种工作模式：对等（Peer to Peer）、主从（Client/Server C/S）及网络计算结构（Network Computing Architecture NCA）。对等和主从工作模式发展较早，也获得广泛应用。在80年代发展C/S方式，90年代出现了NCA方式。

在Client/Server工作模式中，由Client发出一个请求，按请求进程的要求，做出响应、执行服务。C/S工作模式的优点：

（1）Client/Server可处在同一个网络节点中，一个Server可以同时又是另一个Server的Client,并向它请求服务；

（2）Client/Server模式将处理功能分为两部分，一部分由Client处理，另一部分由Server处理，Client承担应用方面的专门任务，Server主要用于数据处理，C/S模式提供一个较理想的分布环境，消除了不必要的网络传输负担，这样有利于全面发挥各自的计算能力，提高工作效率。

NCA是基于网络计算机环境的一种体系结构，即网络计算结构^[30]。

NCA的核心是有效的，可集成多种相互竞争的世界标准所形成的应用，如站点可采用任意编程语言而不必担心集成问题；NCA引入构件概念，插入一个构件，就可扩展一种功能，NCA中有类似硬件总线的软件总线，把构件插接在应用系统中，就可完成应用功能的集成；NCA全面引入面向对象技术，可以把已有的、不同部分独立开发的，遵循不同标准的对象组装在一起，从而实现整体应用。

3. 网络扩展与网络互连

网络互连既是扩展现场总线地域、规模、功能的需要，也是不同结构、不同操作系统结构网互连的需要。网络扩展与网络互连需要一个中间设备（或中间系统），ISO的术语称为中继（Relay）系统。根据中继系统所在的不同网络层次有4种中继系统。

物理层中继系统，即中继器（Repeater）；数据链路层中继系统，即网桥或桥接器（Bridge）；网络层中继系统，即路由器（Router）；网络层以上中继系统，即网关（Gateway）。

高层的中继系统比低层中继系统复杂，网关连接两个不同的异构网，不但要连接网络间数据传送的通道，而且还需要进行协议的转换，是最复杂的一种中继设备^[31, 32]。

（1）网络扩展 物理层的中继系统中继器和数据链路层的网桥常用于网络扩展，中继器一般仅作为物理信号放大，而网桥可使用不同的物理层，可连不同类型的网段，使网段

间故障不会互相影响，还可减少网段间通信量，减轻了网络的负荷。中继器和网桥在现场总线中获得广泛的应用。

(2) 网络互连 实现异构网络互连是在更高层次实现的开放系统。网络互连要解决物理互连和逻辑互连（互连软件）两个问题。网关和路由器是网络互连的重要部件，它起着网间数据传送的通路和终止每个网络内部协议的作用。同时还必需完成：不同的通信协议间必需进行协议转换，必须有一个被互连双方所识别的统一的寻址方式，必需具有一致的信息帧长度等。网络子网要高度自治，以减少网络信息交换量，同时可简化网关结构和降低互连协议的复杂性。

2.1.3 现场总线的通信模型

随着计算机应用日益普及，越来越多的用户要求把多个厂家的计算机系统联网运行。为解决异种计算机互连运行的难题，人们迫切要求建立一系列的国际标准。1978年，ISO 建立了一个新的“开放系统互连”分技术委员会，起草了“开放系统互连基本参考模型”，1983年成为ISO7498正式国际标准，到1986年又对该标准进行了补充完善。形成了为异种计算机互连所提供的的一个共同的标准规范。这就是ISO/OSI国际标准化组织的开放系统互连模型^[33]。网络协议是为了保证现场总线中各站点通过网络互相通讯的一套规则和约定。网络协议具有层次结构，其优点是：各层次独立；灵活；易于实现和维护；易于标准化。

开放系统互连模型是现场总线技术的基础，OSI及其与几种现场总线开放互连参考模型如图2.1所示。OSI按通信功能分为7个层次，从连接物理媒介的底层开始，分别赋予1~7的顺序编号，其1~3层完成通信传送功能，4~7层完成通讯处理功能。

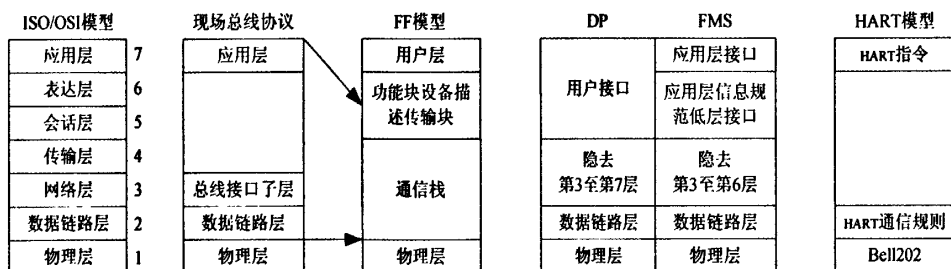


图2.1 OSI及其与几种现场总线开放互连模型的对应关系

物理层为用户提供建立、保持和断开物理连接的功能，即提供同步和双向传输流在物理媒体上的传输手段。但它并不包括物理媒体本身。数据链路层用于保证信息的可靠传递，

对互连开放系统的通路实行差错控制、数据成帧、同步控制等。网络层规定了网络连接的建立、维护与拆除协议，利用链路传输功能，以及端口选择和串连功能，实现两个网络系统之间的连接。传输层可完成开放互连系统端点之间的数据传送控制，数据接收确认以及传输差错恢复。会话层的功能是按正确的顺序收发数据，进行各种对话。表达层用于应用层信息内容的形式变换，把应用层提供的信息变为能够共同理解的形式。应用层作为OSI模型的最高层，用于用户的应用服务提供信息交换，为应用接口提供操作标准^[34, 35]。

现场总线网络互连模型既参照ISO/OSI模型，又具有自己的特点^[36]。

协议是分层的，但层次之间的调用关系不一定象OSI那样严格，层次也可简化，以提高协议的工作效率；既要遵循OSI模型体系结构原则，又要考虑FCS的特点，满足FCS的特殊要求；在现场总线参数模型中，既遵循开放系统集成原则，又充分体现FCS的特点和特殊要求。

现场总线通信模型所采用的分层结构如图2.2所示。通过图示模型完成现场总线控制系统的通信、控制和管理功能。其中物理层、数据链路层采用IEC/ISA标准。

接口子层与应用层的任务是完成应用程序到应用进程的描述，实现应用进程之间的通信，提供应用接口的标准操作，实现应用层的开放性。

应用层有两个子层：现场总线访问子层FAS和现场总线报文规范子层 FMS。FAS的基本功能是确定数据访问的关系模型和规范。根据不同要求，采用不同的数据访问工作模式。现场总线报文规范子层FMS的基本功能是面向应用服务，根据进程目标APO，生成规范的应用协议数据单元APDU^[36]。

在应用层中有两个问题值得研究：

(1) 在复杂的FCS中，现场总线访问子层中网络计算结构NCA是一种颇有应用前景的数据访问工作模式；

(2) 在应用层与数据链路层之间有必要增加一个网络互连子层，以满足网络互连的要求。

图2.2中已标明，用户层规定标准的功能模块（FB）、对象字典（OD）和设备描述（DD）供用户组成系统。在网络管理中，为了提供一个集成网络各层通信协议的机制，实现设备操作状态的监控与管理，设置一个网络管理代理（NMA）和一个网络管理信息库，提供组态管理、性能管理和差错管理的功能。

在系统管理中，设置系统管理内核、系统管理内核协议和系统管理信息库，实现设备管理、功能管理、时钟管理和安全管理等功能^[36]。

现在的网络管理和系统管理的功能还有限，现场总线期待有更强功能的网络管理、系统管理软件和更多的网络管理、系统管理工具。

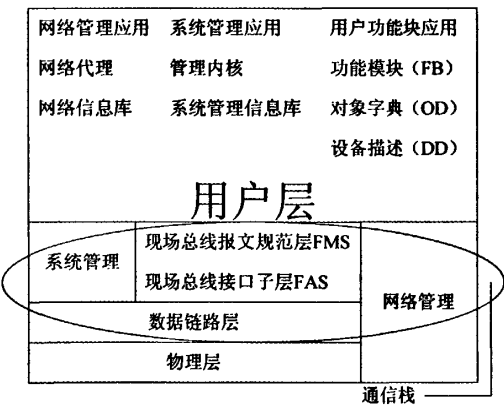


图2.2 现场总线通信模型分层结构

2.1.4 五种典型的现场总线

1. FF (Foundation Field bus)

基金会现场总线，是目前在过程自动化领域得到广泛支持和具有良好发展前景的技术。FF目前拥有120多个成员，这包括世界上最主要的自动化设备供应商：AB、ABB、Foxboro、Honeywell、Smar、FUJI Electric等。FF的通信模型以ISO/OSI开放系统模型为基础，采用了物理层、数据链路层、应用层，并在其上增加了用户层，各厂家的产品在用户层的基础上实现。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。FF总线采用的是令牌总线通信方式，可分为周期通信和非周期通信。FF目前有高速H2和低速H1两种通信速率。H1的传输速率为31.25Kbps，传输距离可达1900m，可采用中继器延长传输距离，并可支持总线供电，支持本质安全防爆环境；H2的传输速率分为1Mbps和2.5Mbps两种，其通信距离分别为750m和500m。FF可采用总线型、树型、菊花链等网络拓扑结构，网络中的设备数量取决于总线带宽、通信段数、供电能力和通信介质的规格等因素。FF支持双绞线、同轴电缆、光缆和无线发射等传输介质，物理传输协议符合IEC1158-2标准，编码采用曼彻斯特编码。FF总线拥有非常出色的互操作性，这在于FF采用了功能模块和设备描述语言DDL，使得现场节点之间能准确、可靠地实现信息互通。目前FF有29个功能块，其中包括10个基本功能块和19个先进功能块^[37]。

用户还可以开发自己的功能块，这些功能块之间通过标准的DDL实现互操作。FF的开发工具为 AT 2400 DD Tokenizer Kit和AT 2401 DD Services Kit^[10]。

2. PROFIBUS (Process Field Bus)

过程现场总线，是由以西门子为首的13家公司和5家科研机构在联合开发的项目中制定的标准化规范，1996年PROFIBUS成为德国国家标准DIN19245，同时又是欧洲标准EN50170，符合国际标准IEC 61158-2。PROFIBUS是功能强大、开放、稳定的现场总线，响应时间非常快。目前的PROFIBUS有三种系列^[38, 39]：PROFIBUS-DP、PROFIBUS-PA和PROFIBUS-FMS。PROFIBUS-DP应用于现场级，实现分散的外围设备之间的高速数据传输，它采用了RS-485传输。PROFIBUS-FMS用于车间级，要求面向对象，提供较大数据量的通信服务，它有被ETHERNET取代的趋势，它也采用了RS-485传输。PROFIBUS-PA专为过程自动化设计，它采用了IEC1158-2传输技术，可用于有爆炸危险的环境中。PROFIBUS-DP和PROFIBUS-FMS使用了同样的传输技术和总线访问协议，所以它们可以在同一根电缆上同时操作，而PROFIBUS-PA设备通过分段耦合器可以很方便地集成到PROFIBUS-DP网络。PROFIBUS参考模型也是遵循ISO/OSI模型，采用OSI模型的物理层、数据链路层，在FMS中增加了用户层。PROFIBUS的总线访问方式为：主动站之间通信采用令牌传输，主动站和从动站之间采用主从方式。PROFIBUS可以采用总线型、树型、星型等网络拓扑结构，总线上最多可挂接127个站点。传输速率为9.6~12Mbps，其最大传输距离在12Mbps时为100m，1.5Mbps时为400m，可用中继器延长至10Km。传输介质可以是双绞线、光缆。可实现总线供电与本质安全防爆^[39]。

3. LONWORKS (Local Operating Network)

局部操作网络，被誉为通用控制网络。其采用ISO/OSI模型的全部七层通讯协议，采用了面向对象的设计方法，通过网络变量把网络通讯设计简化为参数设置。通信速率从3000bps至1.5Mbps不等，直接通信距离可达2700m（78kbps，双绞线），支持双绞线、同轴电缆、光纤、射频、红外线、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。LONWOKKS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。Lon Talk协议提供了5种基本类型的报文服务：确认、非确认、请求/响应、重复、非确认重复。采用带预测的新CSMA，所有节点根据网络积压参数等待随机时间片来访问介质，有效地避免了网络的频繁碰撞。

4. CAN (Controller Area Network)

控制局域网络，是德国Bosch公司及几个半导体集成电路制造商开发出来的，用于汽车监测和控制部件之间的数据通信^[39]。其总线规范现已被ISOTC22技术委员会国际标准组织制订为国际标准，广泛地应用于各行各业。在现场总线中，它是唯一被批准为国际标准的现场总线。CAN协议也遵循ISO/OSI模型，采用了其中的物理层、数据链路层与应用层。CAN的通信速率为5kbps/10km、1Mbps/40m，可挂接设备数最多达110个。CAN采用点对点、一点对多点及全局广播方式传输数据，可实现全分布式多机系统且无主、从机之分，每个节点均主动发送报文。CAN采用的是非破坏性总线优先级仲裁技术，可以大大节省总线冲突仲裁时间，在重负荷下表现出良好的性能。CAN支持四类报文帧（数据帧、远程帧、出错帧，超载帧），采用短帧结构，每帧有效字节为8个，传输时间短，受干扰的概率低。而且每帧信息都有CRC校验和其他检错措施，保证数据出错率极低。当节点严重错误时，能够自动切断与总线的联系，使总线上其他节点不受影响。CAN是所有总线中最为可靠的。CAN总线可采用双绞线、同轴电缆或光纤作为传输介质，但不能用于防爆区^[40]。

5. HART (Highway Addressable Remote Transducer)

可寻址远程传感器数据通路，其特点是在现有模拟信号传输线上实现数字信号通信，属于模拟系统向数字系统转变过程中的过渡性产品，在当前过渡时期具有较强的市场竞争力。HART协议参照ISO/OSI模型的第1、2、7层，即：物理层、数据链路层和应用层。采用统一的设备描述语言DLL。能利用总线供电，可满足本质安全防爆要求。但由于模拟数字混合信号制，导致难以开发出一种满足各公司要求的通信接口芯片。

2.2 可编程逻辑控制器

可编程序控制器是一种面向生产过程控制的数字电子装置，它具有控制能力强、操作方便灵活、价格便宜、可靠性高等特点。它不仅可以取代传统的继电器控制系统，还可构成复杂的工业过程控制网络，是一种适应现代工业发展的新型控制器。^[41. 42. 43]

2.2.1 PLC 的发展

1. PLC的发展^[44]

PLC是60年代末，随着现代工业生产自动化水平的日益提高及微电子技术的飞速发展，而发展起来的。并在通用汽车公司的汽车生产线上首次应用成功。随着微电子技术的发展，70年代中期出现了微处理器和微型计算机。这使得可编程序控制器实现更大规模的集成化，从而使之工作更为可靠，更能适应工业环境。功能也大大加强了。随着成本的大幅度

下降,这种控制器逐渐进入了实用阶段.我国于1974年开始研制,1977年开始工业应用。1985年1月,国际电工委员会(IEC)在颁程序控制器标准草案第二稿时,将其进一步定义为:可编程序控制器(PLC)是一种数字运算操作的电子控制系统,专为在工业环境下应用而设计,它采用可编程序的存贮器,在其内部存贮执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数及算术运算等操作的指令。并通过数字式或模拟式的输入、输出接口来控制各种类型的机械或生产过程。由于个人计算机(Personal Computer)的缩写也为PC,为避免混淆,国内外一些刊物和资料仍将可编程序控制器简称为PLC。

2. PLC的分类^[45]

(1) 根据I/O点数分类

PLC的输入、输出点数表明PLC可以从外部接收多少个输入量和向外部输出多少个输出量,实际上也就是PLC的输入、输出端子数。一般来说,点数多的PLC,功能也相应较强。I/O点数(总数)在256点以下的称为小型机,一般只有逻辑运算、定时、计数、移位等功能。适用于开关量的控制。可用它实现条件控制、定时/计数控制、顺序控制等。有些小型机,如OMRON的P型机、三菱的F1系列PLC、西门子的S7系列PLC等增加了一些算术运算和模拟处理功能,以适应更广泛的需要。I/O点数在256点至1024点之间的,称为中型机,它除了具备逻辑运算功能,还增加了模拟量处理、算术运算、数据传送、数据通讯等功能,可完成既有开关量、又有模拟量的复杂控制。I/O点数在1024点以上的称为大型机,其功能更加完善,具有数据处理、模拟调节、联网通讯、监视、记录、打印等功能,可以进行中断控制、智能控制、远程控制等,可用于大规模的过程控制,构成分布式控制系统或整个工厂的集散系统。

(2) 根据结构、形状分类

从结构和形状上看,PLC可分为整体式和模块式两种。一般的小型机多为整体式结构。这种结构的PLC,其电源、CPU、I/O部件等都集中配置在一起,有的甚至全部装在一块印刷电路板上,结构紧凑、体积小、重量轻、价格低、容易装配在工业控制设备的内部,比较适合于生产设备的单机控制。整体式PLC的缺点是主机的I/O点数固定,使用不够灵活,维修也不方便。模块式结构的PLC各部分以单独的模块分开设置,如电源模块、CPU模块、输入模块、输出模块及其它高机能块等。这种PLC通常由机架底板联结各模块(也有的PLC为串行联接,没有底板),底板上有若干插座,使用时,各种模块直接插入机架底板即可。这种结构的PLC配置灵活、装配方便、易于扩展,可根据控制要求灵活配置各种模块,构

成功能不同的各种控制系统。一般大中型PLC均采用这种结构。模块式PLC的缺点是结构较复杂，各种插件比较多。造价也比较高。

(3) 根据生产厂家分类^[46]

PLC的生产厂家很多，每个厂家生产的PLC，其点数、容量、功能各有差异，但都自成系列，指令及外设向上兼容，因此在选择PLC时若选择同一系列的产品，则可以使系统构成容易、使用方便。比较有代表性的PLC有：日本立石(OMRON)公司的C系列，三菱(MITSUBISHI)公司的F系列、东芝(TOSHIBA)公司的EX系列、富士(FUJI)公司的NB系列、美国哥德(GOULD)公司的M84系列、美国通用电气(GE)公司的GE系列、德国西门子(SIEMENS)公司的S7系列等。

2.2.2 PLC 的特点及主要功能

1. PLC的一般特点

PLC种类虽然千差万别，但它们都有许多共同的特点^[47]。

(1) 编制程序简单

PLC一般采用易于理解和掌握的梯形图语言及面向工业控制的简单指令编制程序，非常形象直观。对于小型PLC而言，几乎不需要任何专门的计算机知识，特别适合现场工程技术人员使用。

(2) 控制系统构成简单、通用性强

虽然PLC种类繁多，但由于其产品的系列化和模块化，且软件包齐全，用户可灵活组成各种规模和要求不同的控制系统。用户在硬件设计方面，只需确定PLC的硬件配置和I/O的外部接线，不需要诸如继电器之类的固体电子器件和大量繁杂的硬接线电路。当控制要求改变，需要变更控制系统的功能时，只要改变存贮器中的控制程序即可。PLC的输入、输出可直接与交流220V、直流24V等强电相连，并有较强的带负载能力^[48]。

(3) 抗干扰能力强、可靠性高

PLC是专为工业控制设计的，能适应工业现场的恶劣环境。在PLC的设计和制造过程中，采取了多层次抗干扰及精选元器件等措施，使PLC的平均无故障时间通常在20000h以上，这是一般的其它电气设备做不到的。绝大多数用户都将可靠性作为选取控制装置的首要条件。因此PLC在硬件和软件方面均采取了一系列的抗干扰措施。在硬件方面，PLC采取的抗干扰措施主要是隔离和滤波技术。PLC的输入和输出电路一般都用光电耦合器传递信号，

使CPU与外部电路完全切断电的联系，有效地抑制外部干扰源对PLC的影响。在PLC的电源电路和I/O接口中，还设置了多种滤波电路，以抑制高频干扰信号。在软件方面，PLC设置了故障检测及自诊断程序，用来检测系统硬件是否正常。

(4) 易于操作及维护

PLC的控制程序可通过其专用的编程器输入到PLC的用户程序存储器中。编程器不仅能对PLC控制程序进行写入、读出、检测、修改等操作，还能对PLC助工作进行监控，使得PLC的操作及维护都很方便。PLC还具有很强的自诊断能力，能随时检查出自身的故障，并显示给操作人员，使操作人员能迅速检查、判断故障原因。由于PLC的故障率很低，并且有完善的诊断和显示能力，当PLC或外部的输入装置及执行机构发生故障时，如果是PLC本身的原因，在维修时只需要更换插入式模块及其它易损件即可，既方便又减少影响生产的时间。

(5) 设计、施工、调试周期短

用PLC完成一项控制工程时，由于其硬、软件齐全，设计和施工可同时进行，由于用软件编程取代了继电器硬接线，实现控制功能，使得控制柜的设计及安装接线工作大为减少，缩短了施工周期。同时，由于用户程序大都可以在实验室模拟调试，调好后再将PLC控制系统在生产现场进行联机调试，使得调试方便、快速、安全，因此大大缩短了设计相投运周期。

2. PLC的主要功能^[49]

PLC是采用微电子技术来完成顺序控制功能的自动化设备，可以在现场的输入信号作用下，按照预先输入的程序，控制现场的执行机构按照一定规律进行动作，其主要功能如下：

(1) 开关量控制

这是PLC最基本最广泛的应用领域，用来取代继电器控制系统、实现逻辑控制和顺序控制。它既可用于单机控制或多机控制，又可用于自动化生产线的控制。PLC可根据操作按钮、限位开关及其它现场给出的指令信号或检测信号，控制机械运动部件进行相应的动作。

(2) 限时控制

PLC为用户提供了一定数量的定时器，并设置了计时指令，其限时控制精度高、定时

时间设定方便、灵活。同时, PLC提供了高精度的时钟脉冲, 用于准确的实时控制。

(3) 计数控制

PLC用户提供的计数器分为普通计数器、可逆计数器、高速计数器等, 以完成不同用途的计数控制。当计数器的当前计数值变为0(或设定值)或在某一数值范围时, 发出控制命令。计数器的计数值可以在运行中被读出, 也可以在运行中进行修改。

(4) 步进控制

PLC能通过移位寄存器方便地完成步进控制功能。有些PLC专门设有步进控制指令, 使得编程更为方便。此功能在进行顺序控制时非常有效。

(5) 数据处理

大部分PLC都具有不同程度的数据处理功能, 如F2系列、C系列、S7系列等均能完成数据运算, 如加、减、乘、除、乘方、开方等, 逻辑运算如与、或、异或、求反等, 以及数据的移位、比较、传递和数值的转换等操作。

(6) 模拟量处理

目前, 很多PLC甚至小型机(如P型机、F系列、ND系列、S7系列等)都具有模拟量处理功能, 而且编程和使用都很方便。

用PLC进行模拟量控制的优点是, 在进行模拟量控制的同时, 开关量也可以控制。这个优点是别的控制器所不具备的, 或实现起来不如PLC方便。

(7) 通讯及联网

由于采用了通讯技术, 可以在PLC之间、PLC与计算机之间进行同位联接及上位联接。通过这些通讯技术, 可以满足当今计算机集成制造系统(CIMS)及智能化工厂发展的需要。

2.2.3 PLC 的编程语言

PLC与微机一样, 是以指令程序的形式进行工作的, 各种型号的PLC一般均以梯形图语言为主, 同时也兼顾一些其它形式的编程语言^[50]。

1. 梯形图

梯形图是一种图形编程语言, 是面向控制过程的一种“自然语言”, 它沿用继电器的触点、线圈、串并联等术语和图形符号, 同时也增加了一些继电器控制系统中没有的特殊符号, 以便扩充PLC的控制功能^[51]。梯形图语言比较形象、直观, 对于熟悉继电器表达方

式的电气技术人员来说,不需要学习更深的计算机知识,极易被接受,因此在PLC编程语言中应用最多

2. 指令语句表

指令语句就是用助记符来表达PLC的各种控制功能,一般与梯形图形式一一对应。它类似于计算机的汇编语言,但比汇编语言通俗易懂,因此也是应用很广泛的一种编程语言。指令语句通常由地址、操作码和操作数(器件编号)三部分组成。这种编程语言可使用简易编程器编程,编程设备简单、逻辑紧凑,连接范围不受限制,但比较抽象,一般与梯形图语言配合使用,互为补充。目前,大多数PLC都有指令语句编程功能,编程设备简单、逻辑紧凑,连接范围不受限制,但比较抽象,一般与梯形图语言配合使用,互为补充。目前,大多数PLC都有指令语句编程功能^[52]。

3. 逻辑功能图

这种编程语言基本上延用了半导体逻辑电路的逻辑方块图形式。对于每一种功能都使用一个运算方块,其运算功能由方块内的符号确定。常用“与”、“或”、“非”等逻辑功能表达控制逻辑。与功能方块有关的指令均画在方块的左边,输出画在方块的右边。采用这种编程语言对于熟悉逻辑电路和只有逻辑代数基础的技术人员来说,是非常方便的。

4. 流程图

流程图编程方式采用画工艺流程图的方法编程,只要在每一个工艺方框的输入和输出端标上特定的符号即可。对于在工厂中搞工艺的人来说,用这种方法编程,不需要很多的电气知识,非常方便。

2.3 北极飞川人造瀑布的工程介绍

南京历史上,鼓楼到北极阁地区在六朝时代是历史上最悠久的一座皇家花园的一部分,北极飞川位于北极阁山体和地面广场的交界处,是北极阁风貌区的重要景点。正是因为北极阁曾经具备这样独特的身份,本课题北极飞川人造瀑布的设计就立足于能够反映南京六朝文化,体现大都会现代文明,又能很好地跟自然山林相融合的永久性景点上。

本课题所设计的北极飞川的人造瀑布带部分全长约 130 米,平均落差近 19 米,是自然山体造型。通过技术处理后,瀑布所依傍的山崖两侧有涓涓溪水顺着山涧曲折落下,而中间 80 米的区域则是流量每小时 23000 吨的大型瀑布直泻而下,气势磅礴,与两旁溪水的温柔形成鲜明对比。再加上山崖涧边的点点青苔、小树,整个瀑布区域犹如一幅真实的

山水国画^[53, 54]。

本课题所设计的北极飞川人造瀑布系统主要包括地下泵房通风系统，地下泵房行吊系统和瀑布机组系统的设备，特别是瀑布机系统构造复杂，包括大量的水泵、控制阀门和检测装置，具体如表 2-1 所示。

如此庞大的系统，其控制系统的设计更是极其复杂，常规的控制方法就显得力不从心了。

本课题所设计的北极飞川人造瀑布系统的设备安装平面布置和标高如附件 1、2 所示。

表 2-1：人造瀑布机组系统的设备清单

序号	分部分项工程项目	单位
1	德国 KSB 机组 OMEGA350-430A	台
2	机组 OMEGA350-430A	台
3	机组 OMEGA350-430A(中德合资)	台
4	橡胶挠性接管(双球体)XGD1450	个
5	橡胶挠性接管(双球体)XGD1350	个
6	电动蝶阀 DN450	套
7	电动蝶阀 DN350(摩根韩国生产)	套
8	止回阀 402 型 DN350(丹佛斯)	个
9	潜水泵 QX25-9-1.1 型安装	台
10	潜水泵 QX25-9-1.1 型检查接线	台
11	潜水泵 QX25-9-1.1 型调试	台
12	SKY-40 水位传感器(美国)	套
13	一机一柜施耐德 ATS48C79Q 软启动	台
14	中央电脑控制柜	台
15	集流自动排空控制电屏	台
16	电动阀柜	台
17	电源总柜	台
18	仪表柜	台
19	控制电脑	台
20	控制系统软硬件(I/O=128-256)	套
21	机组出水压力表 0.5Mpa	套
22	泵房温湿度计	套

本课题所涉及的人造瀑布的控制系统控制信息点多达 120 个，各控制信息点距离较远，而且各控制信息点的状态具有严密的逻辑关系，同时从图中看出，各控制和检测设备分布各处，这些给控制系统的设计带来了极大的困难，要求本课题设计的控制系统必须具远程监测和控制功能^[53]。

第三章 人造瀑布控制系统设计与构建

3.1 人造瀑布控制系统的总体设计

本课题所设计的人造瀑布工程对控制系统的规模要求比较高,控制信息点多达 120 个,分散广,主控模块与驱动模块距离较远,实际目标是能够较好的实现远程控制,实时性要求较高,数据传输规模大。为了满足上述要求,早期的串口通讯模式如 RS485 和 RS232 已经达不到要求。经过改进控制系统,本设计引入现场总线技术^[54, 55, 56]。其中,主控模块与驱动模块通过 CAN 总线相连,主要用来实现两者之间的通讯,从而实现控制信号及反馈信号的实时传送,满足了本课题系统的实时性要求,易于实现远程控制,对于分散较广的全部控制节点和反馈节点可以实现故障检测,提高了通讯系统的容错性、安全性。

根据上述的规划,下面给出本课题设计的人造瀑布控制系统的具体的整体设计方案。控制系统的总体设计思路包括控制系统结构的选择和设计流程的安排,下面将分别加以叙述。

3.1.1 控制系统的结构的选择

控制系统要求安全可靠,有足够的抗干扰能力,且在规定的工作环境下,系统能稳定、可靠地工作,保质保量地完成系统设计任务。因此,在系统的设计过程中,整个控制系统结构的合理与否,对系统的可靠性、性能价格比等有直接影响。首先是硬件、软件功能的合理分配,原则上要尽可能“以软代硬”,只要软件能做到的就不要用硬件;其次要考虑系统的布局及接口特性。接口特性包括用什么样的总线、采集数据的输出形式等^[57]。

整个系统基本上可以分成硬件和软件两大部分,下面分别说明其结构的选择设计情况:

1. 硬件部分

控制模块选择西门子 PLC 的 S7-200,是控制系统的核心。通过选用 P87C52x2 为 CAN 总线智能节点的微控制芯片,选用 CAN 控制器 SAJ1000 和 CAN 总线收发器 PCA82C250 收发器实现 CAN 总线通信功能。在控制过程中,S7-200 控制模块完成控制信号的处理和发送,各驱动模块执行控制动作并将动作的执行情况发通过 CAN 总线送回控制模块和其它驱动模块,实现信号的通信传递^[58]。

2. 软件部分

软件部分主要包括：CAN 总线智能节点设计，串口通信程序设计，上位机界面设计等方面的工作。

3.1.2 控制系统设计

1. 系统设计要求

通过上位机对S7-200给出控制要求，S7-200对控制要求进行处理并输出控制信号，通过现场总线与驱动模块通信，并接收驱动模块的反馈信号，同时进行故障诊断。

2. 硬件/软件协同设计

根据系统设计要求进行硬件设计，同时进行S7-200的软件设计，这样可以缩短开发周期。硬件设计完成后进行CAN总线通信程序设计、输入输出控制程序设计和上位机软件设计。系统设计的工作大部分都集中在软件设计上，采用面向对象技术、软件组件技术、模块化设计是现代软件工程经常采用的方法。

3. 软硬联调

进行软硬件联调，发现并改进硬件设计和软件设计过程中的错误。

4. 系统测试

对系统进行测试，看其是否满足系统设计的要求。

5. 完成设计

3.1.3 控制系统的整体设计方案

根据课题要求，本文设计了一种基于控制器局域网总线的可编程逻辑人造瀑布控制系统。控制系统的整体设计方案如图3.1所示。其中硬件部分由上位机、控制器局域网总线^[59-61]、若干控制模块和驱动模块构成。

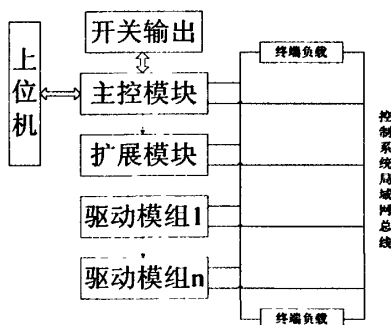


图 3.1 控制系统的整体设计方案

上位机的作用是用于向主控模块发出控制命令和编程命令。其中控制命令的作用是控制各控制模块数据输出，编程命令的作用是将上位机的数据下载到各控制模块的FLASH存储器中。

主控模块设有RS232接口^[62]。RS232接口和上位机连接，其它控制模块作为扩展模块。主控模块和每个扩展模块中均包括一个CPU，CPU的开关控制输出接口与驱动模块连接，64路开关量控制输出给驱动模块。驱动模块由大功率可控硅和光电隔离期间构成了固态继电器组，用于驱动不同的泵和电磁阀继电器，同时有信号采集和发送装置，与CAN总线相连，实现控制信号的接收与反馈。若干控制模块通过控制器局域网总线连接^[63]。

控制模块分为主控模块和扩展模块两种。每个控制模块具有一块控制模块CPU，并具备一个唯一的地址，每个控制模块RS232内置FLASH存储器并和控制器局域网总线接口连接，若干控制模块通过控制器局域网总线接口与控制器局域网总线连接^[63, 64, 65]。

其中，主控模块的CPU连接液晶显示器接口和万年历时钟芯片，通过串行数据接口与上位机相连，同时通过开关控制输出接口连接驱动模块，主控模块设有一个与该模块CPU连接的工作模式选择开关，用于控制所述串行数据接口和上位机连接状态，选择可编程人造瀑布控制系统的工作模式^[66]。扩展模块用于接收主控模块的控制命令，并以此为依据实现不同的开关控制输出，将上位机的数据对应下载到各扩展模块的FLASH存储器中，并传递与其他模块之间的交接信号，同时还可定时发送基本信息给主控模块的装置，用于故障诊断，完成本模块的控制^[67]。每一套系统必须且仅能设定一个主控模块，扩展模块可以根据需要任意增减。当控制模块较多时，由于各模块的运行速度的轻微差异，可能会出现控制不同步的问题，因此所有的控制模块的时基都由主控模块产生，各控制模块的总线控制器通过验收滤波器设置只接收发给自己的数据和同步时基信号，这样既实现了数据同步又减少了各模块的总线处理负担。

模块间的信息传递：有些数据变化规律是跨越模块的，例如瀑布可能出现一个很大的瀑布点占用几个控制模块的情况，这时前一个控制模块的数据就会传递到后一个模块，这时控制模块需要判断传递出的数据以及传递的模块地址，同步时基的作用下将数据送到总线上，如果某个模块接收到给自己的信息，则根据控制规律加以处理，如果有模块需要数据而得不到，则发故障信息。

驱动模块由大功率可控硅和光电隔离期间构成了固态继电器组，用于驱动不同的泵和电磁阀继电器。同时实时采集控制信号的执行情况，并将相关信号反馈给控制模块^[68, 69]。

故障判断：除主控模块，各扩展模块和驱动模块都定时发送基本诊断信息给主控模块，诊断信息包括：地址信息、数据格式错误、数据校验错误、地址重复等，主控模块接收后显示并发送给上位机。如果主控模块接收到某地址信息则判断出该扩展模块存在，否则判断模块不存在。

3.1.4 控制系统工作模式设计

本文设计的人造瀑布控制系统具有三种工作模式：编程模式、计算机控制模式、独立工作模式。

其中独立的工作模块设计，可以使控制系统的模块不依赖上位机独立工作，三种工作模式的选择由工作模式选择开关来决定。工作模式选择开关导通时，系统处于编程模式和计算机控制模式，工作模式选择开关断开时，系统处于独立工作模式。

在编程模式和计算机控制模式下，主控模块串口生效，所有的命令由上位计算机给出。在编程模式下，上位机3通过串口4向主控模块5发出编程命令，上位机3这时写入的数据将会下载到控制系统各个控制模块的FLASH存储器9中，存入的数据包含有以下几种类型^[70, 71]：

1、固定的变化规律的数据

这类数据包含有各个人造瀑布点的基本变化规律，例如瀑布的跑动规律，该变化规律主要由数据的移位方式构成，可以实现多组不同规律的数据同时移位组合，这样就可以实现各种复杂规律的人造瀑布变化。

2、无规律的随机变化数据

这类数据通过对每一种人造瀑布组合设定其持续时间，实现了任意变化的人造瀑布组合，目前最多可以实现7000组数据任意组合变化，这样可以利用人造瀑布实现组字、组图案等功能；

3、固定花型的随机变化数据组合

例如用人造瀑布显示数字，只有0~9种变化，但显示的数字是随机的。这些数据构成数据包保存在FLASH中，FLASH中同时还保存各个数据包的地址指针，通过读取指针可以调用数据^[72]。

在独立工作模式下，控制系统关闭了RS232串口4，不接受上位机的命令，只要系统通电，控制系统的主控模块通过控制器局域网总线通讯接口向其它模块送出同步信号和运行命令控制人造瀑布系统工作，根据FLASH中预存的变化顺序执行，读取自己模块中FLASH内

预存的人造瀑布花形、变化规律，在主控模块同步信号的控制下进行开关控制输出。判断到全部数据包执行完毕，再从头开始循环执行。这种模式不需要上位机的控制，控制系统成为一个独立的控制单元，主要应用于有些不需要上位机控制的场合。

在计算机控制模式下，控制系统提供了两种控制模式^[72, 73]：

1、直接控制模式：该模式下计算机直接输出数据到控制端口，不调用FLASH中的数据包，控制模块的作用相当于输入输出的驱动；

2、指针调用模式：该模式下，计算机调用FLASH中的预存的数据包指针，控制模块根据数据包中的数据变化循环输出，直到计算机产生下一次控制输出。

3.2 人造瀑布控制系统的特性及控制方案比较

3.2.1 人造瀑布控制系统的分层结构

本课题所设计的人造瀑布的控制结构也为分层系统^[74]，为了达到设计透明度以及实现柔性，控制系统的网络结构模型分为两层：数据链路层和物理层。分别介绍如下。

1. 数据链路层

分为逻辑链路层（LLC）和媒体访问控制层（MAC）。在控制系统的网络结构模型中，数据链路层的 LLC 和 MAC 子层的服务和功能被描述为“对象层”和“传送层”^[75]。物理层的功能是有关全部电器特性在不同节点间的实际转送，划分为物理信令（PLS）、物理媒体附属装置（PMA）和媒体相关接口（MDI）。人造瀑布控制系统的分层结构如下图 3.2 所示。

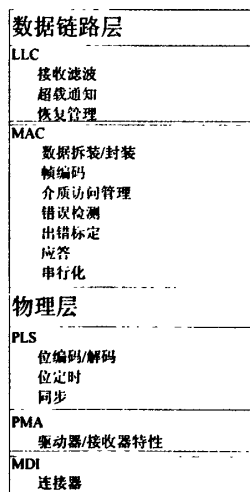


图 3.2 控制系统的网络结构模型

控制系统网络中的物理层要为终端设备间的数据通信提供传输媒体及其连接媒体是长期的,连接是有生存期的。在连接生存期内,收发两端可以进行不等的一次或多次数据通信。每次通信都要经过建立通信联络和拆除通信联络两过程。这种建立起来的数据收发关系就叫做数据链路。而在物理媒体上传输的数据难免受到各种不可靠因素的影响而产生差错,为了弥补物理层上的不足,为上层提供无差错的数据传输,就要能对数据进行检错和纠错。数据链路的建立、拆除、对数据的检错、纠错是对象层和传输层的基本任务^[75]。

LLC 子层的主要功能是:为数据转送和远程数据请求提供服务,确认由 LLC 子层接收的报文实际已被接收,并为恢复管理和通知超载提供信息。在定义目标处理时,存在许多灵活性。

MAC 子层的功能主要是传送规则,亦即控制帧结构、执行仲裁、错误检测、出错标定和故障界定。MAC 子层也要确定,为开始一次新的发送,总线是否开放或者是否马上开始接收。

物理层的功能是有关全部电器特性在不同节点间的实际转送。本课题所设计的人造瀑布控制系统中的物理层是控制系统的网络模型的最低层,其任务就是为它的上一层提供一个传输数据的物理连接。在这一层,数据仅作为原始的比特流(bit 流)进行处理。该层规定了网络设备之间的物理接口特性及通信规则,即规定了为建立、维护和拆除物理链路(通信结点之间的物理路径)所需的机械、电气、功能和规程特性。其作用是确保比特流在物理信道上传输。

媒体相关子层负责处理不同传输媒体、不同速率的信号转换问题。媒体无关子层与数据链路层相连,负责信号编码与解码,增加或减除前导码、定界符的工作。所以物理层的功能是用于实现现场设备与总线之间的连接,为现场设备与通信传输媒体的连接提供机械和电气接口,为现场设备对总线的发送和接收提供合乎规范的物理信号。

3.2.2 人造瀑布控制系统的同步

本课题所设计的人造瀑布控制系统的局域网总线的数据传输速率最高可达1Mbit/s,采用石英晶振作为时钟发生器,这样可以独立进行位定时的参数设置,即使网络中节点之间的时钟周期不一样仍可获得相同的位速率。但网络中晶振的频率不是绝对稳定的,温度、电压以及器件的异常都会导致微小的差别,为解决此问题,本课题采用的方法是首先将晶振频率稳定在振荡器容差范围之内,控制系统的局域网总线上的节点会通过重同步进行弥补。

3.2.3 人造瀑布控制系统的容错性

根据课题要求,考虑到人造瀑布所处环境复杂多变,本课题所设计的人造瀑布控制系统局域网总线采用多种措施尽力提高控制系统的容错性,提高数据在强噪声环境下的数据安全性。获得尽可能高的数据传送安全性,在每个控制器局域网节点中均设有错误检测、标定和自检的强有力措施。检测错误的措施包括:发送自检、循环冗余校验、位域充和报文格式检查。错误检测具有如下特性:所有全局性错误均可被检测:发送器的所有局部错误均可被检测;报文中的多至 5 个随机分布错误均可被检测:报文中长度小于 15 的突发性错误均可被检测;报文中任何奇数个错误均可被检测。当控制系统发生的错误被检测到之后,控制系统还具有错误通知功能和错误恢复功能,如果需要同时可以故障封闭,从而大大地提高了系统的容错性^[76]。

本课题所设计的人造瀑布控制系统具有良好的错误检测功能,所有的控制单元都可以检测错误。常见的错误包括:地址信息、数据格式错误、数据校验错误、地址重复等,模块间的信息传递:有些数据变化规律是跨越模块的,例如跑泉可能出现一个很大的跑泉点占用几个控制模块的情况,这时前一个控制模块的数据就会传递到后一个模块,这时控制模块需要判断传递出的数据以及传递的模块地址,同步时基的作用下将数据送到总线上,如果某个模块接收到给自己的信息,则根据控制规律加以处理,如果有模块需要数据而得不到,则发故障信息。

控制系统是这样实现故障判断的:除主控模块,各扩展模块都定时发送基本诊断信息给主控模块,诊断信息包括:地址信息、数据格式错误、数据校验错误、地址重复等,主控模块接收后显示并发送给上位机。如果主控模块接收到某地址信息则判断出该扩展模块存在,否则判断模块不存在,控制模块地址应当连续,如果不连续,则作为故障,例如有第 1、3、4 控制模块,没有第 2 控制模块则认为系统故障。

人造瀑布控制系统在检测到错误的时候,还具有错误通知和错误恢复和功能。

错误通知功能就是检测出错误的单元会立即同时通知其他所有单元。

错误恢复功能就是正在发送消息的单元一旦检测出错误,会强制结束当前的发送。强制结束发送的单元会不断反复地重新发送此消息直到成功发送为止。

控制系统可以判断出错误的类型是总线上暂时的数据错误(如外部噪声等)还是持续的数据错误(如单元内部故障、驱动器故障、断线等)。由此功能,当总线上发生持续数据错误时,可将引起此故障的单元从总线上隔离出去。

3.2.4 控制系统的方案比较

CAN(Controller Area Network)属于现场总线的范畴，它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络。较之目前 RS-485 基于线构建的分布式控制系统而言，基于 CAN 总线的分布式控制系统在以下方面具有明显的优越性：

1. CAN 控制器工作于多主方式，网络中的各节点都可根据总线访问优先权(取决于报文标识符)采用无损结构的逐位仲裁方式竞争向总线发送数据，且 CAN 协议废除了站地址编码，而代之以对通信数据进行编码，这可使不同的节点同时接收到相同的数据，这些特点使得 CAN 总线构成的网络各节点之间的数据通信实时性强，并且容易构成冗余结构，提高系统的可靠性和系统的灵活性。而利用 RS-485 只能构成主从式结构系统，通信方式也只能以主站轮询的方式进行，系统的实时性、可靠性较差。

2. CAN 总线通过 CAN 控制器接口芯片两个输出端 CANH 和 CANL 与物理总线相连，而 CANH 端的状态只能是高电平或悬浮状态，CANL 端只能是低电平或悬浮状态。这就保证不会出现现象 RS-485 网络中，当系统有错误，出现多节点同时向总线发送数据时，导致总线呈现短路，从而损坏某些节点的现象。而且 CAN 节点在错误严重的情况下具有自动关闭输出功能，以使总线上其他节点的操作不受影响，从而保证不会出现现象在网络中，因个别节点出现问题，使得总线处于“死锁”状态^[77]。

3. CAN 具有完善的通信协议，可由 CAN 控制器芯片及其接口芯片来实现，从而大大降低了系统的开发难度，缩短了开发周期，这些是只仅仅有电气协议的 RS-485 所无法比拟的。

表 3-1 比较了两者之间的差异和优缺点。

表 3-1 RS-485 和 CAN-bus 方案的差异和优缺点比较

特性	RS-485	CAN-bus
单点成本	低廉	稍高
系统成本	高	较低
总线利用率	低	高
网络特性	单主网络	多主网络
数据传输率	低	高
容错机制	无	可靠的错误处理和检错机制
通讯失败率	高	极低
节点错误的影响	导致整个网络的瘫痪	无任何影响
通讯距离	<1.5km	<10km
网络调试	困难	非常容易
开发难度	标准 Modbus 协议	标准 CAN-bus 协议
后期维护成本	高	低

3.2.5 控制方案的确定

本课题所涉及的人造瀑布的工程设计要求一个大规模的控制系统，控制信息点多达120个，且分散较广，各控制点的编点如表3-2所示。

表3-2 人造瀑布控制系统控制编号

序号	控制点编号	控制点名称
1	0101	风机启动点 1
2	0102	风机启动点 2
3	0103	泵房排水泵启动点
4	0104	泵房集水坑正常水位点
5	0105	泵房集水坑警戒水位点
6	0106	蓄水暗池警戒水位点
7	0107	蓄水暗池排水水位点
8	0108	泵房检修照明
9~19	0109~0119	机组 1~10 运行信号点
20~29	0120~0129	机组 1~10 软启动远方启动信号点
30~39	0130~0139	机组 1~10 软启动远方停止信号点
40~66	0201~0226	阀 1~阀 26 开断信号反馈点
67~93	0227~0252	阀 1~阀 26 开阀信号点
94~120	0301~0326	阀 1~阀 26 关闭阀信号点

在控制过程中，各控制信息点具有严密的逻辑关系以保证控制的正确性。例如机组在运行过程中其必要条件有：泵房风机启动，泵房积水坑水位正常，机组暗池水位正常，26个电动阀在规定的正常状态。本课题中人造瀑布控制系统的主控模块与驱动模块离得较远，要求能够实现远程控制，控制过程中要求大规模的数据传输，控制的实时性要求较高，因此早期的工控机控制和串口通讯模式如RS485和RS232已无法满足控制的需要^[78]。主要是因为采用工控机控制人造瀑布的方法节点扩展能力有限，同时在实时性要求比较高的场合，由于目前的计算机多采用WINDOWS多任务操作系统，会出现无法满足控制要求的场合，例如大量人造瀑布的控制时会出现停顿等现象。而采用RS-485主从式通讯控制模块的控制方法，数据传输速率低，子模块之间无法通讯，使得所有信号只能由主节点操控，效率低下，不适用于高速的造型变化，也不能实现故障实时报警。

单纯的可编程控制器（PLC）只能近距离扩展，对于分离较远的控制节点，只能在本地产驱动后在用大电流电缆将电流输到被控节点，在远距离控制的条件下电缆成本可能会远远高于可编程控制器（PLC）成本，所以单纯采用可编程控制器（PLC）控制控制各人造瀑布节点成本高。

本文引入现场总线技术^[79,80]，选取S7-200作为主控模块，将主控模块与驱动模块通过CAN总线相连，实现主控模块与驱动模块的通讯，将制信号的发送和反馈信号的实时传送，且系统通讯的容错性、安全性较高，满足了人造瀑布控制系统的实时性要求，易于实现远程控制，对于分散较广的全部控制节点和反馈节点可以实现故障检测，大大地提升了控制系统的性能，主控模块的结构框图如图3.3所示。

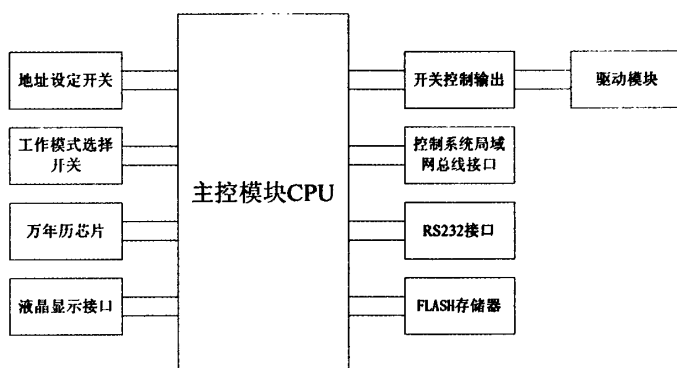


图 3.3 主控模块的结构框图

主控模块包括CPU以及分别与CPU 连接的地址选择开关、RS232接口、液晶显示接口、控制器局域网总线接口、工作模式选择开关、万年历芯片和FLASH存储器。地址选择开关，用于进行控制模块地址选择。FLASH存储器可根据需要选择256字节到64k字节存储器。工作模式选择开关，用于控制RS232串行接口和上位机的连接状态，选择可编程人造瀑布控制系统的工作模式：工作模式选择开关导通时，系统处于编程模式和计算机控制模式，工作模式选择开关断开时，系统处于独立工作模式。在编程模式和计算机控制模式下，主控模块串口生效，所有的命令由计算机给出；在独立工作模式下，串行接口关闭，主控模块控制人造瀑布系统工作。

其它控制模块可以作为扩展模块，扩展模块中设有CPU 以及分别与CPU 连接的地址选择开关、控制系统局域网总线接口和FLASH 存储器。地址选择开关，用于进行控制模块地址选择。每个扩展模块中具备一个唯一的地址，地址可以进行预设，也可以通过地址选择开关进行地址选择^[81]。FLASH 存储器可根据需要选择 256 字节到 64k 字节存储器。即扩展模块的硬件部分和主控模块完全相同，各个扩展模块之间的软件和硬件完全相同，通常使

用时可以去除主控模块的时钟芯片、液晶接口和 RS232 串口。

3.3 人造瀑布硬件部分器件选择与设计

3.3.1 电气控制模块

本课题所设计的人造瀑布控制系统采用现场总线技术，要求实现多主从的网络结构，同时可以实现实时故障诊断功能。同时要求具备软件下载功能，内部有上位机可以将人造瀑布花型和规律变化下载并保存到控制最大64K FLASH存储器内部，由控制器来完成具体的人造瀑布变化，达到降低上位机的工作强度的要求。具备强大的扩展能力，可以根据需要增减控制器的数量，无需修改程序和硬件设计，简化工程设计。本课题所设计的控制模块和驱动之间的可以实现远程数据传输，使驱动模块可以直接放置在被控的人造瀑布附近，减少了电缆线的数量，从而降低成本。独立的工作模块设计，控制系统的模块可以不依赖上位机独立工作，在有些不需要上位机控制的场合，只需要将主模块的工作模式选择开关断开，模块只要通电，通电就会按照事先上位机下载在内部的控制规律及花形自动运行。

1. 控制模块

本课题人造瀑布控制系统选用的主控模块S7-200^[18, 81]是一种小型的可编程序控制器，适用于各行各业，各种场合中的检测、监测及控制的自动化。S7-200系列的强大功能使其无论在独立运行中，或相连成网络皆能实现复杂控制功能。因此S7-200系列具有极高的性能/价格比。

S7-200系列的优点主要表现在：可靠性高、指令集丰富、易于掌握、操作便捷、内置集成功能丰富、实时性强、通讯能力强、扩展模块丰富

S7-200系列在集散自动化系统中充分发挥其强大功能。使用范围可覆盖从替代继电器的简单控制到更复杂的自动化控制。应用领域极为广泛，覆盖所有与自动检测，自动化控制有关的工业及民用领域，包括各种机床、机械、电力设施、民用设施、环境保护设备等等。如：冲压机床，磨床，印刷机械，橡胶化工机械，中央空调，电梯控制，运动系统。

STEP7-Micro/WIN32 V3.1编程软件可以对所有的CPU功能进行编程。如果使用STEP7-Micro/WIN32 V3.1编程软件，则也可以通过SIMATIC CP5511或CP5611编程。在这种情况下，通讯速率可高达187.5kbit/s。

可以利用PC/PPI电缆和自由口通讯功能把S7-200CPU连接到许多和RS-232标准兼容的

设备。

有两种不同型号的PC/PPI电缆：一种是带有RS-232口的隔离型PC/PPI电缆，用5个DIP开关设置波特率和其它配置项，另一种是带有RS-232口的非隔离型PC/PPI电缆，用4个DIP开关设置波特率。

当数据从RS-232传送到RS-485口时，PC/PPI电缆是发送模式。当数据从RS-485传送到RS-232口时，PC/PPI电缆是接收模式。当检测到RS-232的发送线有字符时，电缆立即从接收模式转换到发送模式。当RS-232发送线处于闲置的时间超过电缆切换时间时，电缆又切换到接收模式。这个时间与电缆上的DIP开关设定的波特率选择有关。本课题选用的CPU型号为CPU222，本机集成8输入/6输出共14个数字量I/O点。可连接2个扩展模块。6K字节程序和数据存储空间。4个独立的30kHz高速计数器，2路独立的20kHz高速脉冲输出。1个RS485通讯/编程口，具有PPI通讯协议、MPI通讯协议和自由方式通讯能力。非常适合于小点数控制的微型控制器。

因此，经过系统可靠性，控制性能和价格等各方面的考虑之后，本课题选取 S7-200 作为主控模块。图 3.4 为 PLC 电气控制部分的主控制器图。

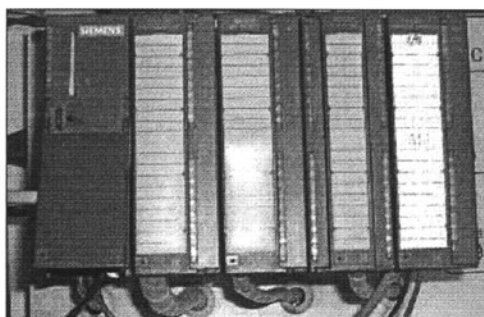


图3.4 PLC主控制器图

2. 节点微控制器 P87C52X2

选取P87C52x2作为CAN总线节点的微控制器，节点是网络上信息的接受和发送站，对于CAN 总线系统中有两种类型的节点：不带微处理器的非智能节点和带微处理器的智能节点，由于各节点功能相对单一因此对CPU的要求大大降低，所以本课题所设计的智能节点微控制器采用8051系列单片机即可满足要求。8051系列单片机有许多厂家生产的多种型号它们在片内存储器容量、中断系统、各种功能的外围模块可以达到的时钟频率和处理速度有很大的不同，但是它们的硬件系统都有一个相同的基本结构^[82]。

P87C52X2的主要特点有：8KB片内代码存储器，256B片内RAM，6个中断源4个中断优先

级，一个16位定时计数器，一个可编程串口。

3. CAN 总线控制器 SJA1000

本系统选取SJA1000作为CAN控制器。PHILIPS公司生产的总线通信控制器芯片SJA1000是独立的CAN控制器，兼容CAN2.0A和CAN2.0B两种技术规范。SJA1000在错误处理超载能力以及接收滤波等方面性能有很大的提高，因此本课题人造瀑布控制系统的设计中，选取它作为CAN控制器，它的主要特性有^[82,83]：

- ① 支持 CAN的物理层和数据链路层的所有功能
- ② 多主结构有总线访问优先权取决于标识符ID
- ③ 对于高优先级的报文确定等待时间
- ④ 和CAN2.0B协议兼容
- ⑤ 扩展的接收缓冲器64字节先进先出FIFO
- ⑥ 同时支持11位和29位识别码
- ⑦ 位速率可达到1Mbps
- ⑧ 支持热插（无干扰软件驱动速率检测）

SJA1000的硬件结构框图如图3.5所示。

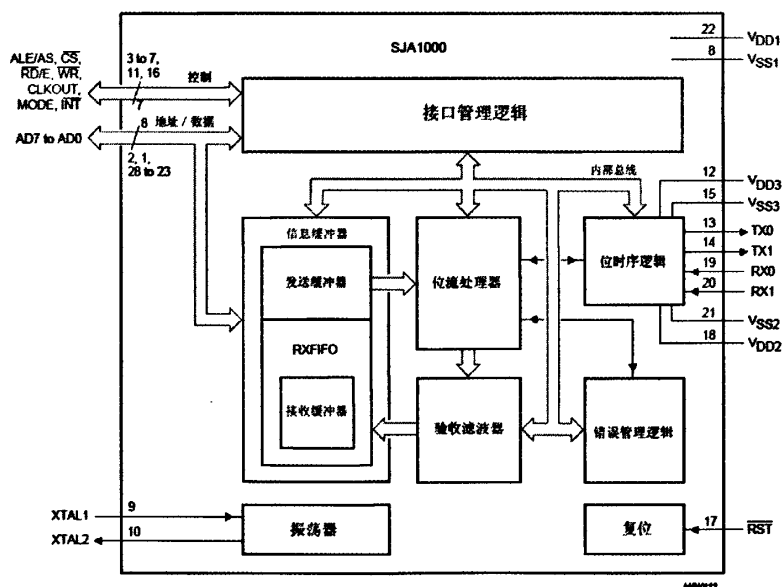


图 3.5 SJA1000 的硬件结构框图

4. CAN 总线收发器芯片 PCA82C250

本系统选取PCA82C250作为CAN总线的收发器^[36]。PCA82C250是CAN协议控制器和物理总线的接口。此器件对总线提供差动发送能力，对CAN控制器提供差动接收能力。PCA82C250硬件图如图3.6所示。

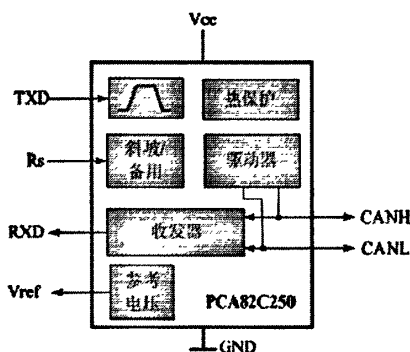


图3.6 收发器芯片PCA82C250硬件图

PCA82C250有如下特性^[84]：

- ① 完全符合“IS011898”标准
- ② 高速(可达1Mbps)
- ③ 可挂110个节点
- ④ 低电流待机模式
- ⑤ 未供电的节点不会干扰总线
- ⑥ 斜率控制以降低射频干扰(RFI)
- ⑦ 差动接收器具有宽共模范围，有很强的抗电磁干扰(EMI)的能力

基于以上特性，再加上PCA82C250在能在复杂环境中，对总线提供瞬变保护，对电源和地的短路保护，以及热保护，所以在本课题所设计的人造瀑布控制系统中，希望控制系统能够实时处理控制要求，控制局域网总线的通讯能达到非常快速的要求，因此控制器局域网总线收发器芯片不但可能性要高，同时还要有较高的传输速率。在综合系统要求和相关芯片资料的情况下，选取PCA82C250收发器作为音乐喷泉控制系统局域网的总线收发器，PCA82C250控制器局域网总线收发器芯片是协议控制器和物理传输线路之间的接口，用以实现物理媒体连接子层，它可以用高达1Mbit/s的位速率在两条有差动电压的总线电缆上传输数据，同时支持多种工作方式^[85]。

5. CAN 总线智能节点的硬件设计

在本课题中，CAN 总线节点的硬件主要由微控制器、CAN控制器、CAN总线驱动器、电源电路、复位电路、显示模块键盘电路、PLC设备等组成。PLC设备通过RS232串口与微控制器通信，微控制器通过SJA1000——CAN控制器与CAN总线驱动器接入CAN总线局域网，实现PLC设备在CAN总线局域网的连接。其设计方案如图3.7所示。

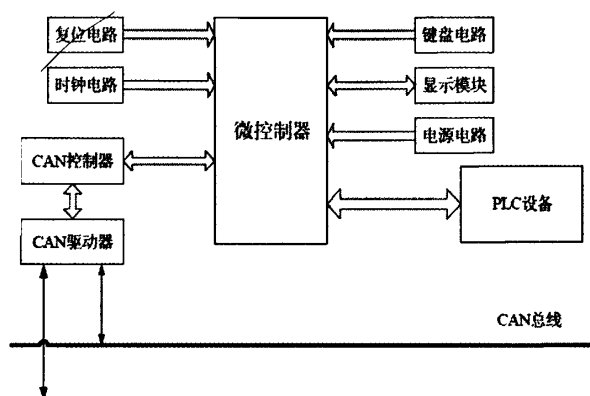


图3.7 CAN总线节点结构框图

当选用SJA1000作为独立的CAN控制器后，其数据传输原理如下图3.8所示。

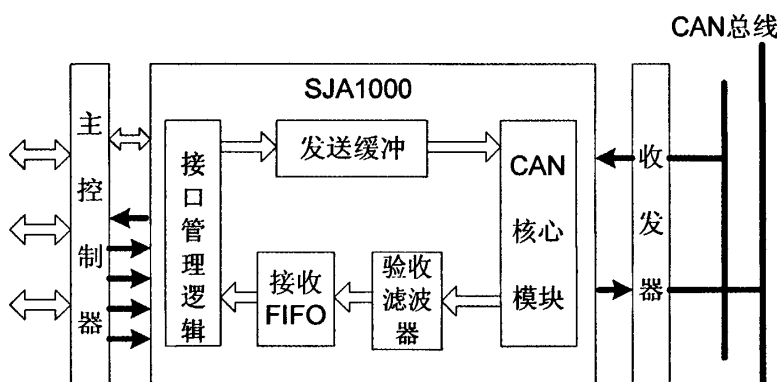


图 3.8 SJA1000 数据传输原理

CAN核心模块负责CAN信息帧的收发和CAN协议的实现，接口管理逻辑负责同外部主控制器的接口，该单元中的每一个寄存器都可由主控制器通过SJA1000的地址/数据总线访问，发送缓冲区可存储一个完整的信息帧长度为13个字节，主控制器可直接将标识符和数据送入发送缓冲区，然后置位命令寄存器（CMR）中的发送请求位TR，启动CAN核心模块读取发送缓冲区中的数据，按CAN协议封装成一完整的CAN信息帧，通过收发器发往总线。验收滤波器单元完成接受信息的滤波，只有验收滤波通过且无差错，才把接收的信息帧送入

表 3-3 水泵组参数计算

参数名	计算公式	参数值
过流面积 S	$S= \pi D^2 /4$	0. 52m ²
管道平均流速 V	$V=Q/S$	1. 6m/s
入口喇叭口水力损失 h1	$h1= \xi \times V^2 /2g=0. 15 \times 1. 6^2 /2 \times 9. 8$	0. 02m
入口蝶阀全开时水力损失 h2	$h2=0. 4 \times 0. 13$	0. 05m
入口伸缩节水力损失 h3	$h3=0. 5 \times 0. 13$	0. 07m
出口蝶阀全开时水力损失 h4	$h4=h2$	0. 05m
出口单向阀水力损失 h5	$h5=4 \times 0. 13$	0. 52m
出口伸缩节水力损失 h6	$h6=h3$	0. 07m
出口 90° 弯头水力损失 h7	$h7=0. 25 \times 0. 13 \times 3$	0. 20m
出口分水管水力损失 h8	$h8=(2+1) \times 0. 13$	0. 39m
沿程水力损失 h9*	$h9= \lambda \times L \times V^2 /2gD$	21. 768m ³
输水管路系统总水力损失 h	$h= \sum_{i=1}^9 h_i$	2. 1m

备注：h9 其中管长 $L=22 \times 2+55=99\text{m}$ (取 100m)，22 为装置扬程，55 为上水池内的最大管长，2 为输送管从泵房至山坡水平方向以及上坡方向所经过的路程的装置扬程的估算倍数。

综上所述水泵机组选型为:KSB 公司 OMEGA350-430A 型

3.4 人造瀑布控制系统软件设计

3.4.1 串口通信程序设计

本课题人造瀑布控制系统通过串口通信结合PC和PLC，综合二者的优点，使系统可以对数据实时采集、实时存储，以及实时处理。随着微电子和控制技术的发展，PLC在现代工业生产中广泛应用。但它存在数据处理弱和管理能力差，不能给用户提供简单易于操作的界面等缺点，因此开发由PC与PLC组成的监控系统已经成为一种趋势。在专用组态软件用于上位机监控界面开发中，若以专用的PLC通信接口模块联系上位机和PLC则投资大、成本高。因此，PC机直接和PLC通信是一种很好的技术方案。一方面S7-200系列PLC提供的自由口的通讯，可供使用者开发通讯程序。另一方面现在大多数应用系统都是基于VC++平台开发的，因为VC++是一种基于Windows平台的应用程序的开发工具，在图形处理和数据库管理等方面有较强的功能，用它来实现底层通信控制可以达到更快的速度。二者的结合使

系统可以对数据实时采集、实时存储，以及实时处理。

1. 通信方案选择

本课题采用PLC自由口通信模式。S7-200系列PLC支持多种通信协议，有PPI协议，MPI协议，PROFIBUS协议和用户定义协议(自由口协议)，其中MPI协议和PROFIBUS协议需要网卡或者DP模块，用户自定义协议则不需要，并且用户可通过编程控制S7-200CPU通信口的操作模式。通过程序配置，可以与任何您需要的任何设备进行灵活地进行通信。因此，我们采用PLC自由口通信模式。

考虑编程的方便性和实用性，本课题采用控件的方法开发通信程序。开发串口通信应用程序，上位机软件通常采用两种方法：一种是使用软件开发工具提供的控件，另一种是利用Windows API函数。通信控件的工作原理类似中断方式，当有通信事件发生时(如发送或接收数据就会触发OnComm事件)，在该事件的处理函数中调用GetCommEvent()函数，通过返回值确定是哪类事件，再做出相应的处理。所以通信控件在串口编程时十分方便，程序员不必花费时间去了解十分复杂的API函数，就能通过串行口接收和发送数据。

2. 系统流程

在本课题的软件设计过程中，设定通信由上位机触发开始，首先由上位机发送握手信号，PLC接收到握手信号后，发送回握信号；上位机收到回握信号，则开始发送请求指令，PLC收到指令后，校验数据，正确则发送数据给上位机，错误则要求重发；上位机收到数据进行校验，出错则要求PLC重发，正确则进行数据处理。上、下位机流程图如图3.10所示。

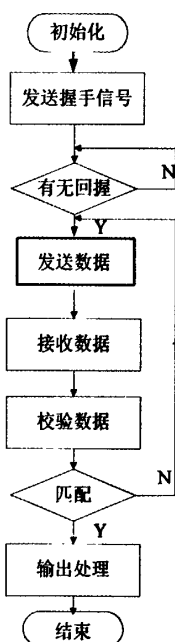


图3. 10a 上位机流程图

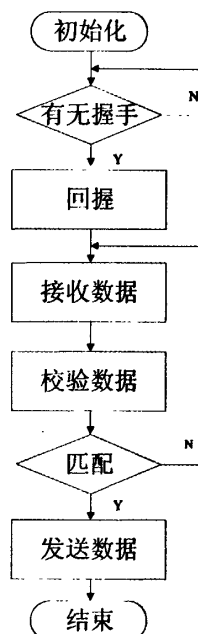


图3. 10b 下位机流程图

图3. 10 串口通信流程图

3. PC 机软件设计

本课题使用Windows环境下串行通信控件，采用事件驱动的方法，实现PC机的串口通信。在Windows环境下，使用串行通信控件，只需要设置和监视控件的属性和事件，就可以实现串行通信。MSCOMM控件提供两种处理通信的方法：一种是事件驱动方法；另一种是查询法。在使用事件驱动法设计程序时，每当有新字符到达或端口状态发生变化，即使发生错误，都会触发OnComm事件，这种方法程序响应及时，可靠性高。查询法是应用程序完成某一串行口操作后，将不断检查端口事件，这种方法适合小的应用程序的开发，占用内存较大。

本课题利用VC++6.0提供的MSComm控件实现了与PLC通信的上位机控制软件。MSComm控件需要手动添加完成，首先建立一个基于对话框的应用程序，然后在Project菜单中选择“Add to Project”，单击“components and contrl”菜单，从弹出的对话框中选择“Registered Active control”，选择“Microsoft communication control, version 6.0”，确认添加MSComm类。按照上面的步骤引入MSComm控件。程序代码如下。

(1) 串口通信参数初始化

```
m_ctrlComm.SetInputMode(1);           //输入方式为2进制方式
```

```

m_ctrlComm.SetInBufferSize(1024);    //设置输入输出缓冲区大小
m_ctrlComm.SetOutBufferSize(512);
m_ctrlComm.SetSettings("9600,n,8,1"); //设置串口属性
if(!m_ctrlComm.GetPortOpen())        //判断串口是否打开
M_ctrlComm.SetPortOpen(TRUE);        //打开串口
m_ctrlComm.SetRThreshold(1);
m_ctrlComm.SetInputLen(0);
m_ctrlComm.GetInput();                //清空缓冲区

```

(2) 发送程序

```

Void CTestDlg:: OnSendData()
{

```

CString str1=Str2Hex(m_edit1); //将要发送的数据转化为十六进制形式

```

str1=FormatStr(str1);
CByteArray array;                //定义要发送的字节变量
BYTE i_send[123];
Army.RemoveAll();
Array.SetSize(33);
ZeroMemory(i_send, 123);
i_send=SendToPLC(str1);          //根据PC机要发送数据的格式给字节变量

```

赋值

```

m_ctrlComm.SetOutput(COleVariant(array)); //发送数据到PLC
}

```

(3) 接收程序

```

void CTestDlg:: OnComm()          //串口事件响应函数
{

```

```

VARIANT variant_inp;

COleSafeArray safearray_inp;

LONG len, k;

BYTE rxdata[2048], PLCdam[512];

Sleep(50);

if(m_cmComm. GetCommEvent()==2)           //事件2表示有数据到达
{
    variant_inp. m_ctdComm. GetInput();      //读串口数据
    Safearray_inp 2 variantjnp;

    len=safearray_inp. GetOneDimSize();      //获得有效数据长度
    for(k=0; k<len; k++)
    {
        sdarray—inp. GetElement(&k, rxdata+k);

        PLCdam[k]=rxdata[k];                //保存PLC发送来的数据
    }
}

BOOL flag=ParityDam(PLCdam);                //校验PLC发送来的数据是否正
确

Level=GetDataFmmPLC(PLCdam);                //将十六进制转化为十进制表示

```

4. PLC 通信程序设计

本课题的PLC通信程序设计的通信模块采用自由口通信模式。在通信之前需要通过改写SMB30或SMB130来选择通讯模式，设定波特率以及数据长度和校验位。数据发送和接收，均采用专用指令实现。在通讯过程中，我们利用中断来实现发送数据和接收数据的切换，当数据发送完成，会产生发送字符中断事件，在中断程序中切换到接收状态；当接收数据完成，会产生接收信息完成中断事件，在中断程序中切换到发送状态，由于收发切换有一定的间隔，所以必须延时一段时间再发送数据，我们用定时中断来产生延时。为了产生接收信息完成中断事件，必须要对RCV指令设定结束信息作为判断接收完成的条件，通过向

SMB89或SMB189中装入字符来设置，这个字符必须与上位机发送来的结束信息相吻合。PLC用STEP 7.Micro / WIN32(4.0版)编写通信程序。该程序主要包括以下几部分：主程序：根据SM0.1调用初始化子程序，根据SM.0.0调用读写子程序，使RCV处于接收状态；

子程序Initlize：串口初始化并开中断；

子程序Read：将接收到的字符依次放入发送缓冲区；

子程序Write：将接收到的字符依次放入接收缓冲区；

子程序Verity：对接收上位机指令校验；

中断程序RCVComplete：RCV指令接收完上位机指令触发；

中断程序XMTComplete：XMT指令向上位机发送完数据触发；

中断程序IN哪：定时中断，每隔100ms向上位机传送一次数据。

3.4.2 CAN 总线智能节点的软件设计

本课题人造瀑布控制系统设计通过CAN总线建立通讯的步骤是：

系统上电后首先，根据SJA1000的硬件和软件连接设置主控制器，然后根据选择的模式验证、验收滤波、位定时等设置CAN控制器的通讯。这也是在SJA1000硬件复位后进行。

在应用的主过程中准备要发送的报文并激活SJA1000发送它们，主要所作用两个，一是对被CAN 控制器接收的报文起作用，二是在通讯期间对发生的错误起作用。

1. SJA1000初始化

在本课题的设计过程中，是这样处理SJA1000的初始化工作的，系统上电后，首先，必须根据SJA1000的硬件和软件连接设置微控制器；根据选择的模式、验收滤波、位定时等设置CAN控制器的通信（即CAN初始化）。在初始化完成后SJA1000才能进入工作状态，此时，可以启动通信。CAN控制器SJA1000的初始化流程见图3.12。在上电后CAN控制器的RST管脚得到一个复位脉冲，使SAJ1000进入复位模式，然后，微控制器对如下的寄存器进行配置：

模式寄存器：选择验收滤波器模式，打开复位模式，关闭只听模式和自测试模式。

时钟分频寄存器：使用PeliCAN模式，旁路CAN输入比较器作为外部收发器使用，禁止CLKOUT管脚。

总线定时寄存器：设置总线位速率1Mbps，定义位周期内的采样点、一个位周期内的

采样数。

输出控制寄存器：设定为正常输出模式TX0推挽，TX1悬空。

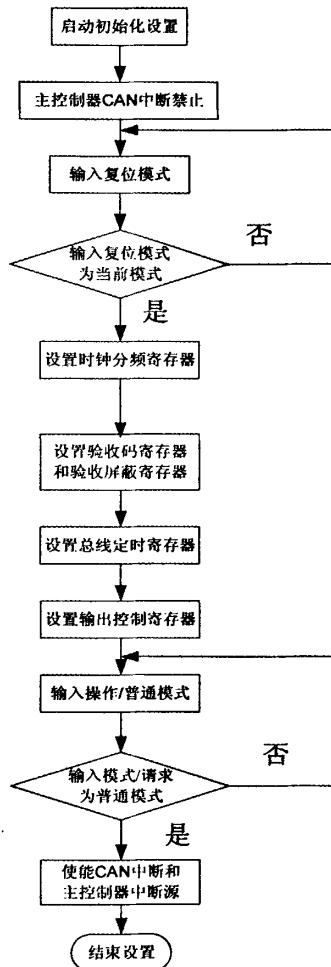


图 3.12 SJA1000 初始化流程图

其初始化程序如下所示：

```

void SJA1000_init()
{
    /*定义中断优先级和控制 */
    PX0 = PRIORITY_HIGH; /*设CAN 有一个高优先级中断*/
    IT0 = INTLEVELACT; /*中断0为电平激活 */
    /*使能SJA1000 的通信接口 */
    CS = ENABLE_N; /*SJA1000 /*接口使能 */

```

```

/*中断使能，如果使用（上电后不需要）*/

EA = DISABLE;                /*所有中断禁止 */

SAJIntEn = DISABLE;          /*来自SJA1000 的外部中断禁止*/

/*设定复位模式/请求位（注上电后SJA1000 处于BasicCAN 模式）*/

while((ModeControlReg & RM_RR_Bit) == ClrByte)

{

ModeControlReg = ModeControlReg | RM_RR_Bit;

}

/*设定硬件时钟分频寄存器，选择PeliCAN 模式，旁路CAN 输入比较器作为
外部收发器使用，为控制器AT89C52 选择时钟 */

ClockDivReg = CANMode_Bit | CBP_Bit | DivBy2;

/*如果需要（在上电后总是必须的）CAN 中断禁止，（写SJA1000 中断使能/
控制寄存器）*/

InterruptEnReg = ClrIntEnSJA; /*定义验收代码和屏蔽 */

AcceptCode0Reg = ClrByte;

AcceptCode1Reg = ClrByte;

AcceptCode2Reg = ClrByte;

AcceptCode3Reg = ClrByte;

AcceptMask0Reg = DontCare; /* 接收任何标识符 */

AcceptMask1Reg = DontCare; /* 接收任何标识符 */

AcceptMask2Reg = DontCare; /* 接收任何标识符 */

AcceptMask3Reg = DontCare; /* 接收任何标识符 */

/*配置总线定时 */

/*位频率1Mbit@24MHz 总线被采样一次 */

BusTiming0Reg = SJW_MB_24 | Prec_MB_24;

BusTiming1Reg = TSEG2_MB_24 | TSEG1_MB_24;

```

/*配置CAN 输出: TX1 悬空, TX0 推挽, 正常输出模式 */

```
OutControlReg =Tx1Float|Tx0PshPull|NormalMode;
```

/*清除复位模式位选择双验收滤波模式关闭自我测试模式和仅听模式, 清除休眠模式(唤醒) */

```
do
```

```
{
```

```
ModeControlReg = ClrByte;
```

```
}
```

```
while((ModeControlReg&RM_RR_Bit) != ClrByte);
```

```
SJAIntEn = ENABLE;                /*SJA1000 的外部中能 */
```

```
EA = ENABLE;                       /*所有中断使能 */
```

```
}
```

2. CAN 总线发送子程序设计

本课题是这样设计CAN总线发送子程序的, 数据从CAN 控制器发送到CAN 总线是由CAN 控制器自动完成的, 发送程序指需要把要发送的数据帧送到CAN 的发送缓冲区, 并启动发送命令即可。发送程序可采用查询方式或中断方式。对于中断方式发送程序分为两部分: 一是主程序; 二是中断服务程序。主程序主要用于控制信息的发送以及当发送缓冲区满时, 把要发送的信息暂存到临时存储区; 中断发送程序负责把临时存储区中的暂存信息发送出去。流程图如下图3.13所示

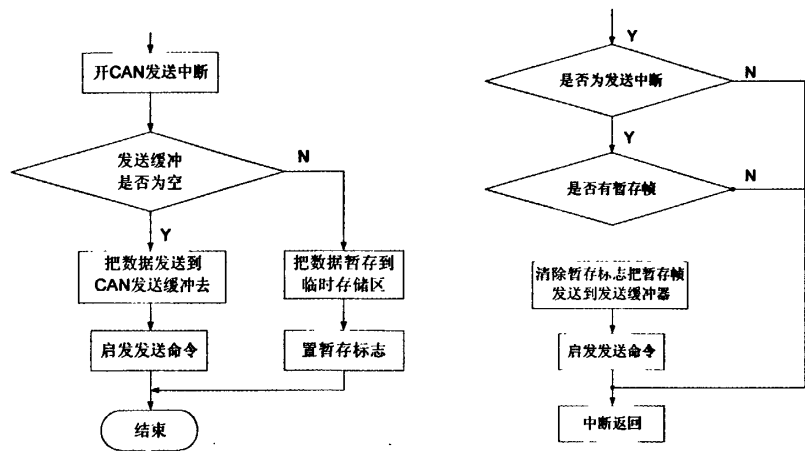


图 3.13 SJA1000 发送程序流程图

3. CAN 总线接收子程序设计

在本课题的设计过程中，根据CAN协议规范，报文的接收由CAN控制器SJA1000独立完成。当SJA1000接收到从总线上发送过来一帧报文后，先验证标识符，看是否需要接收的正确报文。当需要接收数据时，就把报文放入接收缓存器中，通过微控制器对接收缓存器进行读操作，把数据读入，然后调用相关的处理子函数完成数据的处理任务。收到的报文放在接收缓冲器，可以发送给主控制器的报文由状态寄存器的接收缓冲器状态标志（RBS）和接收中断标志（RI）标出（如果使能）。主控制器会将这条信息发送到本地的报文存储器，然后释放接收缓冲器并对报文操作。SJA1000报文的接收主要有两种方式：中断方式和查询方式。图3.14为接收数据的中断程序流程图。

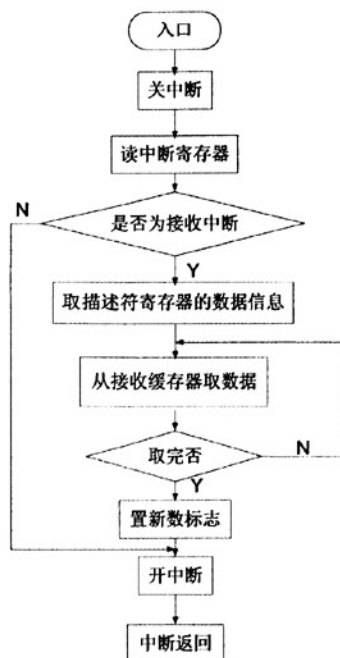


图 3.14 SJA1000 接受程序流程图

3.4.3 上位机设定和控制界面程序

本课题所设计的设定和控制界面程序设计是在VC++6.0环境下开发完成的，界面如下列各图所示。

图3.15是人造瀑布控制系统上位机开机后的控制界面，系统开机后，上位机首先和控制下位机进行通信连接，检测各机组和阀门的工作状况。

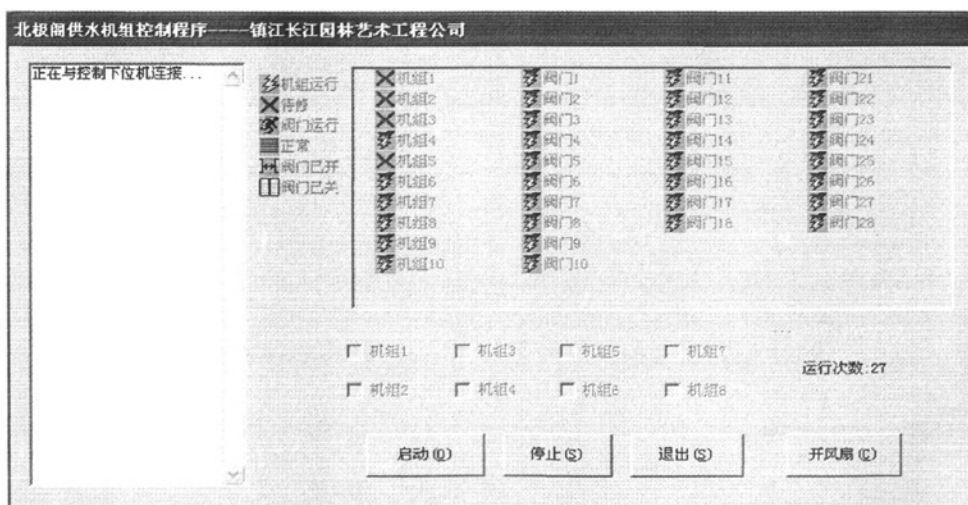


图3.15 人造瀑布控制系统上位机开机后的控制界面

鼠标点击“启动”按钮，控制系统启动，系统弹出启动窗口。启动窗口中列出了所有可以启动的机组号。鼠标点击想要开启的机组（窗口右边的复选框）。再点确定，进入机组启动流程。系统按顺序一台一台的启动机组。图3.16为人造瀑布控制系统启动后，启动机组的控制界面。

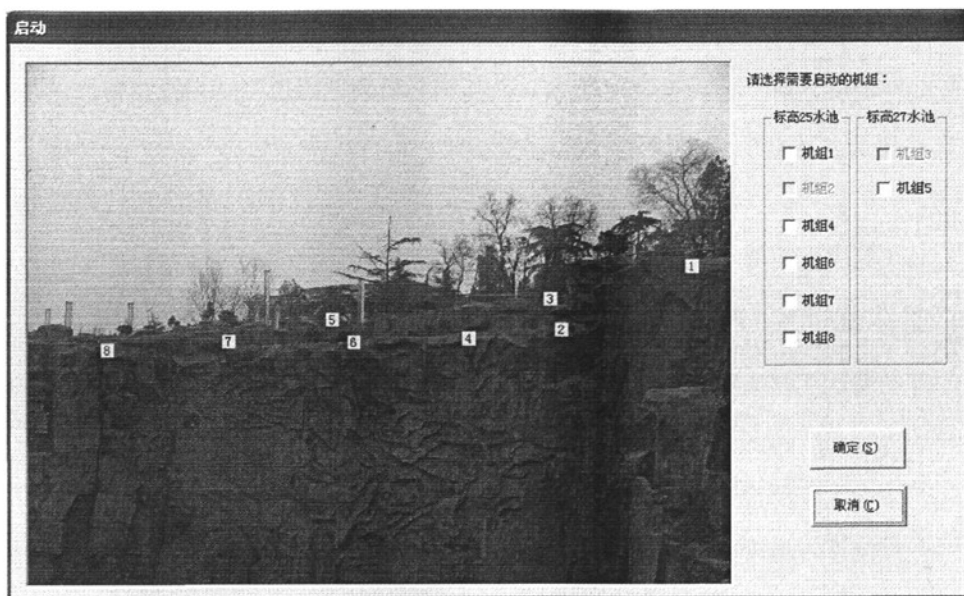


图3.16人造瀑布控制系统启动机组的控制界面。

第四章 人造瀑布控制系统调试

系统调试是工程设计阶段的最后一个环节，也是验证这项工程成功与否的重要一环，是一个项目能否从理论过度到实践关键的一步。系统经过控制目标分析，控制方案选择，结构确定，核心器件的选择，软硬件的分析、设计之后，进入工程设计的调试阶段。系统在进行软件调试之前，首先要对硬件部分进行细心检测，确保硬件安全、可靠的情况下，进行软件调试。从整个调试周期来看，软件的单元测试和综合测试几乎占到总工作量的2/3。系统软硬件的调试、处理及修改工作使得工程设计的各个模块结合成为统一的整体，从而达到用户的要求。

4.1 硬件调试

硬件的调试主要依靠经验，调试人员需要通过不断的硬件调试来积累和提高。硬件电路的调试内容归纳起来有两项：脱机检查和联机调试。

脱机检查主要是检查电源系统的极性，是否有短路故障和硬件电路的地址总线、数据总线以及控制总线是否有短路、开路或错位情况。联机调试是全面测试主控电路的各硬件部分电路基电气部分都是否能正常工作。

4.1.1 单元电路调试

本课题所设计的人造瀑布控制系统系统中，由于电路部分芯片较多，故调试采用硬件调试和软件调试相结合的方式。调试方式是先将整个系统分成很多小部分，分别调试，然后在按照系统的设计方案和要求将各个小的调试进行结合起来，进行整体调试。此方法对于复杂系统的调试来说，容易发现问题，结构清晰，提高了调试效率，节约了时间。

调试时使用的工具有除了前面系统设计是所选用和设计的硬件工具外，还需要万用表，串口调试助手软件STEP7. Micro / WIN32(4.0版)，稳压电源等。

4.1.2 CAN 通信单元电路调试

单元电路调试分为CAN通信单元电路调试、串行通信接口电路调试和系统联合调试。

在本课题所设计的人造瀑布控制系统中，由于CAN通信单元电路调试是调试中的难点，所以在理解CAN总线通信协议之后，再结合CAN总线控制器SJA1000和总线驱动器PCA82C250的具体功能设计出接口电路，才能开始尝试调试。

首先根据设计电路制作出CAN 总线接口板，并和CAN总线智能节点的微控制芯片的最小系统连接起来，利用SJA1000的自检测功能来判断SJA1000是否能正常发送接收，先利用

软件初始化SJA1000,使其进入自检测模式,使用“自接收请求”命令发送报文,如果能够成功接收回原报文,显示正确,则说明电路正常。然后连接好双绞线,和另一个节点进行联调,一开始并没有期待的那样实现通信,做了程序的相应调整后,另一节点能接到数据,但显示表明接收的数据是不正确的。经过检查,发现问题出在中断接收过程中,因为中断使用的寄存器组和接收子程序使用的寄存器组不同,导致接收不正确,经调整后仿真调试,问题得到解决,基本实现了CAN总线各节点之间的通信功能。

4.2 软件调试

4.2.1 软件调试方法

1、程序会审和口头宣读

程序会审和口头宣读的方式可以互相启发灵感,思维活跃,通常成批的发现错误,并能正确发现出这些错误的性质和位置,提出合理的纠错方法,因而测试效率非常高。

本系统设计的软件部分的开发多次采用这种方式,尤其是遇到疑难问题的时候,不仅改正和解决了好多理论上的问题,而且改正和改进了程序。

2、白盒测试法

白盒测试法的特点是:比较擅长发现逻辑错误,但容易遗漏非逻辑错误。本软件的子程序的调试大多采用白盒测试法。

3、黑盒测试法

黑盒测试的特点是:容易发现功能错误,但无法发现逻辑错误。本软件中的模块测试多用黑盒测试。

4、自顶向下测试法

它的优点是:可以最早看到系统的整体功能轮廓,对于增加工作信心比较有利;缺点是需要编写虚模块。本软件的主框图的测试即采用此法。

5、自底向上测试法

它的特点是:不必编写和测试虚模块,但必须为每个模块写一个驱动模块来替代它的上级模块,不过驱动模块的编制比虚模块还是要容易得多。本软件的各模块即采用此法。

4.2.2 具体调试

串口通信调试。使用串口调试软件来调试主控机的串口部分。

首先结合串口调试助手软件,在主控机系统里编好一个串口收发程序,再开始调试。当有上位机有数据发送时,下位机把数据显示出来的同时,再把同一数据发送回给上位机。

调试过程中,下位机有事在接收数据方面会出现问题,于是多次排查硬件电路,一切正常。只有从程序方面下手,发现根据波特率计算T1初值出现错误,导致串口波特率不正确。经计算调整后,下位机显示正确,表明接收正常。但上位机显示却不正确,仔细参看串口软件说明,才发现下位机发送回去的数据格式不符合它的要求,更改后,才得以成功显示。

4.2.3 整体调试

在把本系统主控机部分和执行器部分调试完毕后,就开始把两部分连接起来做整体系统调试。这里最关键的部分是主控模块和扩展模块的应用协议的制订,在这个过程中,要先有好的构思,然后要去实验,才能最终确定协议方案。因为在整体调试之前,各部分都进行了调试,所以整体调试过程就比较顺利。最后把主控模块连接到PC机进行综合调试,基本实现要求功能,整个系统调试成功。

本课题基于现场总线技术的人造瀑布控制系统的系统调试步骤如下:

一、开机前准备:

1. 打开上位机系统:即开启总控室中的PC机,启动登录完成后,才可以进行下一步操作。

2. 打开下位机系统:即复位控制室中的PLC系统。

复位方法为:打开控制柜上门,将PLC的CPU模块的run开关打到stop位置,然后再打到run位置。

3. 检查监控系统,注意仪表及指示灯状态正常。

检查方法为:观察排表柜上的电流表读数。从左上角开始横向排列1-10号电流表的读书对应1-10号瀑布水泵的即时电流。未开机时,电流应为0。

二、开机流程:

1、打开控制系统和自检:

打开控制系统时,系统会首先进行上位机自检。若上次退出为非正常退出,则系统会首先执行关闭机组程序。

2、检查通讯及阀门信号:

上位机自检结束后,会首先自动接收阀门状态信号。(若有阀门状态异常,请及时处理。处理方法见“注意事项”)

等待1-2两条执行完毕后,即可对机组进行控制操作。

3、启动机组

(1) 鼠标点击“启动”按钮,系统弹出启动窗口。启动窗口中列出了所有可以启动的

机组号。鼠标点击想要开启的机组（窗口右边的复选框）。再点确定，进入机组启动流程。系统按顺序一台一台的启动机组。

（2）某些情况下，系统将自动以备用机组代替所选机组。其规则如下：a. 所选启动机组的状态为机组待修时，启动备用机组代替。b. 每当启动次数为 5 的倍数时，启动一次备用机组，以确保备用机组的使用次数，而不会因为长期不用导致锈蚀；并可延长 1-8 号机组使用寿命。

（3）普通机组启动时，将自动按以下流程运行程序（参见图纸和编号表）：a. 检验并打开相应进水阀门；b 打开相应出水阀门；c 检验并关闭相应备用阀门。以 1 号机组为例：开启 1 号机组时，系统首先检验 1 号阀门（1 号机组的进水阀门）是否已开启，若未开启则开启阀门后继续，若已开启则继续。开启 11 号阀门（1 号机组的出水阀门），当阀门开启到位后继续。检验并关闭 21 号阀门（1 号机组的备用阀门，即使用备用机组代替 1 号机组时必须打开的阀门）。当这些阀门运行到位后，系统自动启动 1 号机组。

4、备用机组启动流程：a. 检验并打开备用机组进水阀门；b. 打开被替代机组出水阀门；c. 打开被替代机组备用阀门；d. 检验并关闭被替代机组进水阀门；e. 开启机组。
f. 关闭机组

（1）点击停止按钮，系统弹出“关机”窗口，在窗口右边的复选框点击需要停止的机组（只有可以停机的机组才在这里列出，备用机组不能在本功能停机，若想停止备用机组运行，只能用退出程序，随整个系统自动关闭）。停机时，系统会按顺序一台一台的关闭。

（2）退出本系统时，系统会自动执行一次关闭所有机组操作（这里是一次性关闭所有机组）。顺序为：首先关闭相应出水阀门。当出水阀门完全关闭后关闭机组。

（3）紧急情况时，可以不通过上位机，直接按下控制柜上的紧急关闭按钮，系统将关闭所有机组。急停按钮是控制柜上门中央的一个绿色按钮，用手用力按下一秒钟即可放开（请不要按下后长时间不放）。

5、风扇开关

点击“开风扇”（“关风扇”）按钮，可实现地下泵房散热风扇的启动/停止操作。

6、退出系统

点击“退出”按钮，可退出本操作系统。在退出前，首先会自动关闭所有已经打开的设备。请不要用其它方法退出本系统。

7、机组及阀门检修

若机组需要检修，请打开 dh.ini 文件，在[jzxx]节的相应位置输入代码，并及时与

我公司取得联系。代码为：1 代表报修，启动该机组时将被由用机组替代；0 代表正常；其它任何值代表无法使用，也不能被备用机组替代。

以机组 1 报修为例：在[jzxx]节的 jz1=后输入代码 1。则该机组在启动时将会被备用机组所替代。

若阀门故障，请不要使用和该阀门相关的机组，也不要备用机组代替。

当故障解除，请将相应代码位置输入成 0。

8、注意事项：

(1) 系统流程运行时（如正在启动机组），在流程结束前，请不要对计算机进行任何操作。

(2) 系统弹出等待窗口时，请耐心等待，不要对计算机进行任何操作。若系统提示：“数据传输超时”询问是否重试，请分析原因。一般是开关状态不正常，请首先取消操作，检查线路及相关设备（PLC 在每次打开上位机后都需要重新复位）都处于正常运行状态后，再重新操作。

(3) 紧急时可不通过上位机，直接使用控制柜上的急停按钮关闭所有机组。

(4) 在机组启动的状态下，请不要对相关硬件设备进行任何操作。

(5) 本系统必须专机专用，请不要在本系统的上位机运行任何其它程序，以免导致软件冲突。最后，本课题基于现场总线的人造瀑布控制系统调试完毕，成功运行。

第五章 总结与展望

5.1 全文总结

本课题研究的主要内容是设计一种基于现场总线的人造瀑布控制系统，该系统具有扩展性强、编程简便、成本低、控制灵活等特点，系统包括上位机、CAN 总线、若干控制模块和驱动模块。课题技术方案可达到以下效果：

采用现场总线技术的人造瀑布控制器，实现多主从的网络结构，可以实现实时故障诊断。

具备软件下载功能，上位机可以将瀑布流量和规律变化下载并保存到控制器内部，由控制器来完成具体的瀑布变化，降低了上位机的工作强度，对上位机的要求降低。

具备强大的扩展能力，可以根据需要增减控制器的数量，无需修改程序和硬件设计，简化工程设计。

控制模块之间的可以实现远程数据传输，使驱动模块可以直接放置在被控的人造瀑布附近，减少了电缆线的数量，降低成本。

独立的工作模块设计，控制系统的模块可以不依赖上位机独立工作，在有些不需要上位机控制的场合，只需要将主控模块的工作模式选择开关断开，模块只要通电，通电就会按照事先上位机下载在内部的控制规律及花形自动运行。

5.2 研究展望

本课题所做的工作取得了阶段性成果，下一步的努力方向是：

将上位机与投影镭射设备相接，根据人造瀑布的风格，设置形色各异的光影投射于瀑布，进一步提出其艺术效果；将来的控制系统应能提供一个友好的人机界面，比如通过触摸屏让用户能够对水型动作进行点播，装点气氛；

参考文献

- [1] 陈永清、潘学军等. 桂林漓江大瀑布饭店景观瀑布设计[J]. 给水排水, 2005, 31(1):73-76.
- [2] 张忠霞、沈青卿等. 伊瓜苏瀑布设计简介[J]. 给水排水, 2006.32(02):64-67.
- [3] 何芳. 广州火车东站广场超大型景观瀑布设计[J]. 给水排水, 2002.28(4): 45-49.
- [4] 王靖华、毛根海等. 景观瀑布的水力设计试验研究[J]. 给水排水, 2001.27(5):59-61.
- [5] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 第1版.北京:清华大学出版社, 1999.
- [6] 雷霖. 现场总线控制网络技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [7] 郭宽明. CAN总线原理和应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1996.
- [8] 郭宽明. 现场总线技术应用选编[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.
- [9] 史久根、张培仁、陈真勇. CAN现场总线系统设技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.
- [10]史久根等. CAN现场总线系统设计技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.
- [11]饶运涛. 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.
- [12]邹益仁. 现场总线控制系统的设计和开发[M]. 北京:国防工业出版社, 2003.
- [13]范恺. 现场总线的发展趋势[J]. 自动化仪表[J]. 2000 (2):1-4.
- [14]鲍官军等. CAN总线技术系统实现及发展趋势[J]. 浙江工业大学学报, 2003(1):59-61.
- [15]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.
- [16]魏庆福. 现场总线技术的发展与工业以太网综述[J]. 工业控制计算机, 2002,15(1):1-4.
- [17]肖本贤, 姜大玲等. 基于CAN总线的运动控制网络系统通讯软件开发[J]. 制造业自动化, 2002(7):45-48.
- [18]雷世雄. CAN总线在核热工测量仪表中的应用[J]. 计算机与数字工程, 2009(7): 207-209.
- [19]王毅峰、李令奇. 基于CAN总线的分布式数据采集与控制系统[J]. 工业控制计算机, 2000(5):34-38.
- [20]高玉芹. CAN总线分布式系统适配卡和控制单元设计[J]. 单片机与嵌入式系统应

- 用. 2002 (3): 33-36.
- [21]周京辉、刘权. 基于CAN总线的分布式控制系统及应用[J]. 工业控制计算机, 1998(5):50-5.
- [22]宋文晶、周林等. CAN总线在分布式输灰控制系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 1999(6):4-6.
- [23]万志平. 基于CAN总线的圆网印花机控制系统设计[J]. 中国制造业信息化, 2008(9): 47-48.
- [24]C _CAN User's Manual, Revision 1.2, Bosch, 2006.
- [25]CenaG,ValenzanoA,A High-performance Enhanced CAN-Like network, IEEE Transactions Industrial Electronics, 2000,31(5):51-55.
- [26]Selecting and Using RS-232, RS-422, and RS-485 Serial Data Standards, Application Note 723,Dallas,2000.
- [27]CAN Specification Version 2.0, Parts A and B, Philips Semiconductors, 1992.
- [28]Lon Works Technology Device Data, Motorola Inc,1997.15-40.
- [29]M. Dani Baba, A. Kutlu, E. T. Powner. " Wireless Medium Access Control Protocol For CAN," In Proc. Of the 4th International CAN-Conference, Berlin, Germany. 1997.
- [30]Hoske, Mark T.Choose the right programming language. control Engineering; Jul2003,Vol.50 Issue 7,p52,lp.
- [31]V.Nassisi. A.Luches. Rogowski coils, Theory and Experimental Results. Review of Scientific Instruments, 1979,50(7):900-902.
- [32]杨懿、贾炭轩等. 冗余CAN总线系统设计[J]. 机电产品开发与创新, 2007(5):154-159.
- [33]唐济扬. 基于现场总线技术的先进控制系统[J]. 制造业自动化, 2000(7):31-35.
- [34]西门子有限公司. 西门子S7-200可编程序控制器系统手册[M]. 2002.
- [35]刘涤尘、姚晓光. 监控系统中的PLC与上位机通信的研究[J]. 电网技术, 1998(6):49-51.
- [36]初宪武、汪玉凤、王丽. 基于82527的CAN总线的智能传感器节点设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2002(12),27-29.
- [37]郭宽明. 单片机外围器件实用手册(数据传输接口器件分册)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1998.
- [38]吴永凤. CAN总线接口芯片PCA82C250及其应用[J]. 贵州工业大学学报,

2005(3):76-79.

- [39] 陆 前 锋. 基于 SJA1000 的 CAN 智能控制系统设计 [J]. 自动化技术与应用. 2003, 24(1): 96-99.
- [40] PHILIPS Semiconductors Corp. Data Sheet SJA1000 CAN Stand-alone controller. New York, 2000.
- [41] 扬东海、翁新华、扬涤清. 基于 VC++ 和 MFC 的上位机和 PLC 的通讯系统 [J]. 微计算机信息, 2003(3): 10-12.
- [42] 许京骐、程培康. 给排水新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.9.
- [43] 刘天齐、黄小林. 环境保护. 北京: 化学工业出版社, 2000.4 第一版, 106.
- [44] 张绅民. 可持续发展论. 中国环境科学出版社, 1997.12.
- [45] 21 世纪议程. 环境保护与综合治理(下卷). 北京: 科学技术文献出版社.
- [46] 顾润南. 我国城市生活污水处理方法述评. 环境保护, 2001(9): 46-47.
- [47] 杨长春、朱正伟. 现场总线的展望和发展. 江苏石油化工学院学报, 1999、5
- [48] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [49] 郑文波、阳宪惠. 现场总线技术综述. 机械与电子, 1997、5
- [50] 顾洪军. 工业企业网与现场总线技术及应用. 北京: 人民邮电出版社, 2002
- [51] 邱公伟. 可编程控制器网络通信及应用. 北京: 清华大学出版社, 2000
- [52] 朱乐辉、朱衷榜. 活性污泥法的现状及发展. 环境与开发, 1997 第 12 卷
- [53] 孙楠. 现场总线应走 DCS 兼容的道路. 工业控制计算机, 1999、1 总第 24 卷
- [54] SIEMENS. SIMATIC NET 网络解决方案 (产品简介), 2000、10
- [55] 牛学义、张中旺、王旺. 德法两国与我国在污水厂设计建设和运行方面的比较. 给水排水, 2001、1, 总第 27 卷
- [56] 李 德 清. 基于 WEB 及 “INFRANET+INTRANET + INTERNET” 一体化技术的 SCADA 控制模式是污水处理厂综合自动化控制系统的发展方向. 仪器仪表与分析监测, 2002.
- [57] SIEMENS. SIMATIC NET 工业通讯网络 (产品目录 1K10), 2000.
- [58] 钱文武. 城市污水净化厂自动化控制系统设计浅见. 中国工控在线, 2003.
- [59] 唐受印、汪大羽等. 废水处理工程. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [60] 李探微. SBR 中 DO 的变化及其作为污水处理控制参数的研究. 浙江工业大学学报, 2001(2), 总第 29: (95-98).

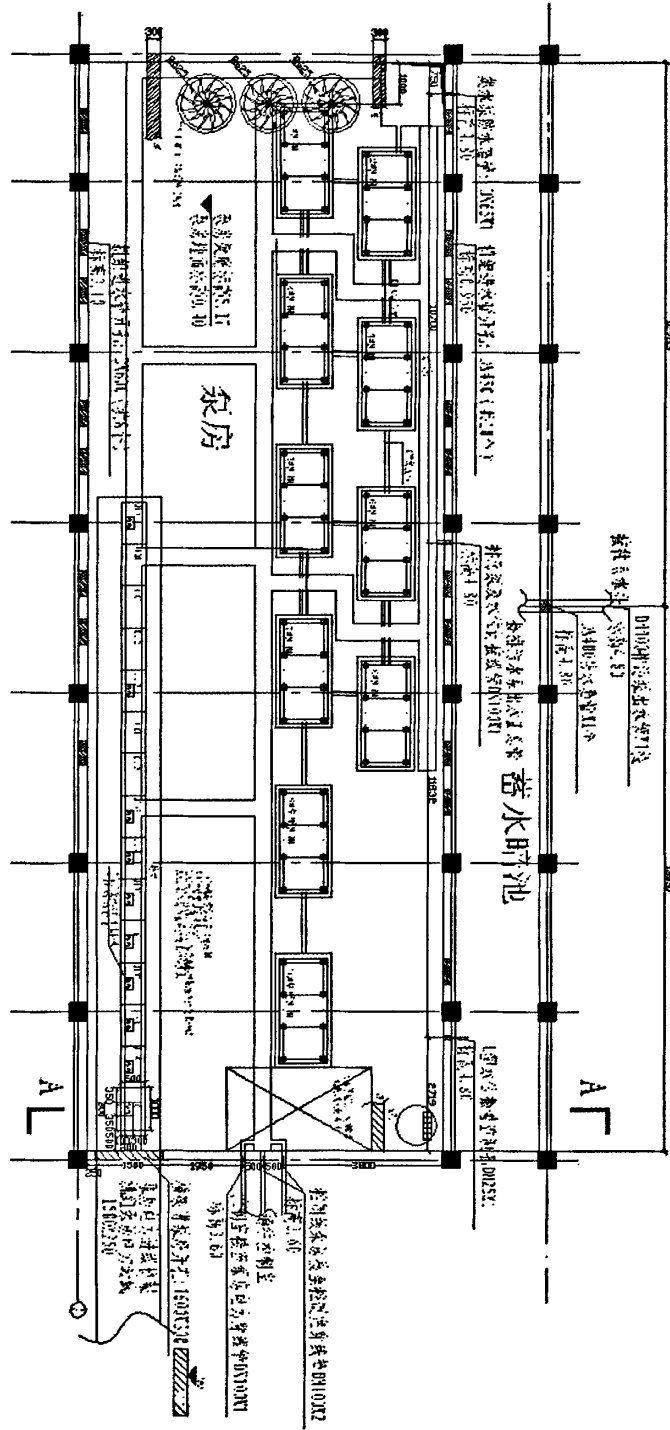
- [61]STEP 7 V5.0编程手册. SIEMENS公司, 1998.
- [62]SIMATIC HMI WINCC手册. SIEMENS公司, 1998.
- [63]蔡忠勇. 现场总线与工业以太网.中国工控在线, 2003、7.
- [64]李涛、伯晓晨等. MATLAB工具箱应用指南.北京: 电子工业出版社, 2000、5.
- [65]谢松云等. 工业计算机控制系统的应用现状和发展方向. 测控技术, 1999年第8期
- [66]王洪臣. 城市污水处理厂运行控制与维护管理.科学出版社, 1999年.
- [67]何衍庆. 可编程控制器原理及应用技巧. 化学工业出版社, 1997.
- [68]汪晓光. 可编程控制器原理及应用. 机械工业出版社, 2001.
- [69]马国光. 监控组态软件及应用. 清华大学出版社, 2001.
- [70]梁首发.S7-300可编程控制器及工控组态软件WinCC应用.电气自动化, 2000(7).
- [71]胡晓春. 水厂自动化及设计.给水排水, 1999(2).
- [72]贾青. 工控计算机和PLC的现状及其发展.自动化博览, 2000.
- [73]陈瑞. 可编程控制器与工控机通信技术的研究.电测与仪表, 2002(2).
- [74]范影乐, 杨胜天. MATLAB仿真应用详解. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [75]Deji Chen and Aloysius K. Mok. Developing New Generation of Process Control Systems.[J]. IEEE Real-Time Embedded System Workshop, Dec. 3, 2001.
- [76]James A. Rehgl, William H. Swain, Brian P. Yangula. Fieldbus in the Process Control Laboratory – Its Time Has Come. [J]. Honeywell Industrial Automation & Control Fort Washington, PA 19034.
- [77]Glanzer, D., “Foundation fieldbus and its Role in the Plant Network Hierarchy”, Instrument Society of America, Publication number.
- [78]Hua Wang David Wheeler.Endogenous Enforcement and Effectiveness of China's Pollution Levy System. [J].Development Research Group World Bank .
- [79]Johnson D.The Future of Fieldbus at Milestone 1995.Control Engineering, 1994,41(13).
- [80]吴中俊、黄永红. 可编程序控制器原理及应用. 机械工业出版社, 2004.
- [81] 胡涛、苏建良, 石剑锋 .PLC 技术与应用及其发展分析. 机床与液压. 2005(12):135-137.
- [82]王富良、刘国海、康梅. PLC 变频调速系统的神经网络逆控制. 电机与控制应用(原刊名中小型电机). 2006 年4 月.
- [83]L.M.Silverman, Properties and application of inverse systems, IEEE Trans. Auto.

Control, Vol.AC-14, pp436-437,1968.

[84]孙增析、张再兴、邓志东. 智能控制理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社, 1997.

附件1

设备安装平面布置图

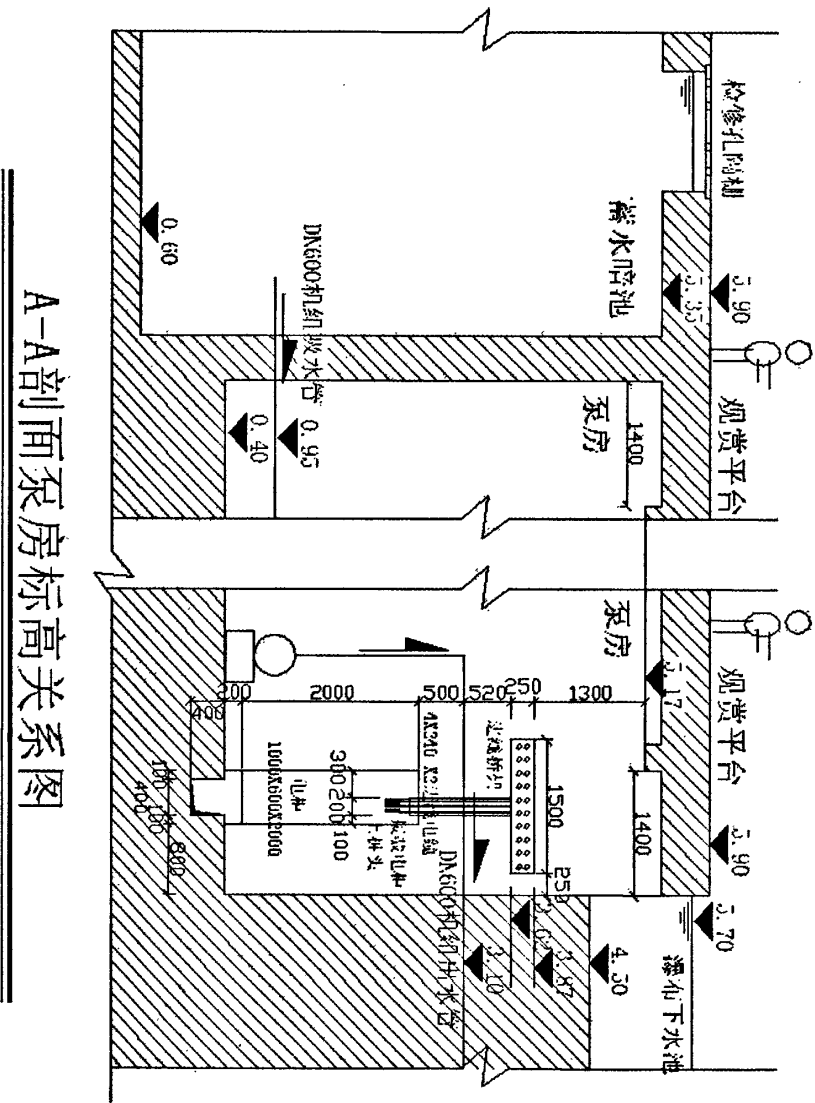


地下泵房电柜平面布置图

注: 1. 按照8月10泵房改造设计变更记录 (TJ2.1.1), 本图设备基础平面定位坐标下移50mm;
2. 除电机所在暗槽外, 其余暗槽平面定位坐标下移50mm;

附件 2

设备安装标高图



致 谢

首先衷心感谢我的学校导师和卫星教授和企业导师吴瑞涛高级工程师三年来给予我悉心的指导。他们渊博的学识、清晰的思路、严谨求实的治学态度和科学的工作作风给我留下了深刻的印象，使我受益终生；他们严于律己、宽厚待人的谦谦君子之风，也将影响着我今后的人生之路。作者在此致以最诚挚的谢意！

接下来要感谢与我并肩奋斗的师兄弟们，他们是 谢振国、谢文涛、王尧，在与他们交流讨论中，我获得了不少新的思想，对我的课题帮助很大。

同时感谢我公司（南京园林规划设计院）的所有同仁们，大家互帮互助，营造了一个和谐团结的科研氛围，从中我受益匪浅！

最后，向所有帮助过我的老师和同学、同事、朋友致以最衷心的感谢
并谨以此文献给养育我的父母双亲！

2009 年 12 月 20 日

攻读硕士学位期间发表的学术论文目录

1、《基于现场总线的可编程音乐喷泉控制系统》

《中国水务世界》杂志第 83 期

第三作者

2009 年 8 月