

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 19920091152463

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 EtherCAT 网络开放式数控系统的研究及应用

The Research and Application of Open CNC Based on  
EtherCAT Network

章明众

指导教师姓名: 陈永明 副教授

专业名称: 测试计量技术及仪器

论文提交时间: 2012 年 6 月

论文答辩日期: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（）课题（组）的研究成果，获得（）课题（组）经费或实验室的资助，在（）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘要

随着计算机技术、工业以太网总线技术的发展和推广，数控系统技术已经从传统封闭式数控系统发展为基于工业以太网总线技术及开放式架构的全数字数控系统，其高速传输、高可靠性和良好的开放性成为数控技术发展的主流。

EtherCAT 是一种技术开放、高实时性、高可靠性、拓扑结构灵活的工业以太网总线，具有很好的快速和同步性能。基于 PC 的纯软件开放式数控系统摒弃数控系统专用硬件，利用计算机 CPU 强大运算能力在专用实时扩展系统中完成所有数控实时任务，具有强大的运算能力和良好的开放性。本文将 EtherCAT 总线技术嵌入到美国 Soft Servo System 公司的 ServoWorks CNC 纯软件开放式数控系统中，充分融合这两种技术的优点，获得了一种开放式总线数控系统 ADX CNC，并针对通用多轴数控设备开发出完整的数控系统应用方案。

论文首先对 ServoWorks CNC 纯软件开放式数控系统技术进行了介绍，具体分析了基于 Windows 纯软件开放式数控系统的体系结构及实现机理。其次介绍 EtherCAT 技术，主要分析了 EtherCAT 网络的运行机理，对 EtherCAT 通信介质及其协议进行详细的说明，也对 EtherCAT 从站设计实现进行了阐述。此外，根据数控系统实时性的要求，在 Windows 系统中嵌入 RTX 实时子系统，并分析了满足数控系统要求的 EtherCAT 主站的主要功能、通信机理和网络建立实现方式。最后针对目前广阔的多轴通用数控设备市场，重点开发并设计了基于该数控系统的应用方案：全数字总线伺服方案和通用脉冲伺服方案；同时，详细介绍了方案软硬件的构成，并给出了全数字总线伺服方案在立式加工中心上的具体应用，实现数控加工设备的高速高精控制。

**关键词：**EtherCAT；ServoWorks CNC 技术；ADX 数控系统.

## Abstract

With the development and promotion of computer technology, industrial Ethernet technology, CNC technology has moved from the traditional closed-end CNC system to open architecture CNC system based on industrial Ethernet digital technology. Its high-speed transmission, high reliability and openness are becoming into the mainsteam of the development of CNC technology.

EtherCAT is an open real-time, high reliability, flexible topology Industrial Ethernet bus with the rapid and synchronous performance. The PC-based pure soft CNC abandon the CNC dedicated hardwares and utilize the powerful computing power of the computer's CPU to complete real-time tasks in a dedicated real-time extension system, which is and wide open. This project embedd EtherCAT technology into the pure soft open ServoWorks CNC from Soft the Servo System, fuse the advantages of both technologies and get an open bus CNC system named ADX CNC. Also a complete CNC application solution is developed for general-purpose multi-axis CNC equipment.

Firstly, introduce the prue soft open ServoWork CNC technology including the system architecture and implementation mechanism based on the Windows. Secondly introduce EtherCAT technology including the operation mechanism, communication media, protocols and EtherCAT slave design. Thirdly, analyse the main features of EtherCAT master with CNC function, communication mechanism and network on RTX real time subsystem which is embedded in Windows to meet with the real time request. Finally, develop and design application solution based on ADX CNC for the wide multi-axis general CNC equipment market including digital bus servo solution and common pulse servo solution. Meanwhile, detail the hardware and software's composition of solution and specify the application on a vertical machining center with digital bus servo solution, which achieve high-speed and high-precision control.

**KeyWords:** EtherCAT; ServoWorks CNC Technology; ADX CNC.

## 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 数控系统与数控机床 .....	1
1.2 开放式数控系统技术 .....	2
1.3 工业以太网总线技术 .....	4
1.4 课题概述 .....	6
1.4.1 选题背景 .....	6
1.4.2 本文主要研究工作 .....	8
<b>第二章 ServoWorks CNC 纯软件开放式数控系统技术研究</b> .....	<b>10</b>
2.1 概述 .....	10
2.2 ServoWorks 技术的硬件和操作系统平台 .....	11
2.2.1 ServoWorks 技术的硬件平台 .....	11
2.2.2 ServoWorks 技术的操作系统平台 .....	12
2.2.3 IntervalZero RTX 实时扩展子系统 .....	13
2.3 ServoWorks CNC 软件架构 .....	14
2.3.1 ServoWorks CNC 软件架构概述 .....	14
2.3.2 ServoWorks 引擎内核 .....	15
2.3.2.1 ServoWorks 运动引擎 .....	15
2.3.2.2 ServoWorks G 代码解释器 .....	16
2.3.2.3 ServoWorks PLC 引擎 .....	16
2.3.3 ServoWorks 实时 DLL .....	17
2.3.4 ServoWorks Develop Kit 二次开发包 .....	17
2.4 ServoWorks CNC 通讯硬件平台 .....	18
2.4.1 ServoWorks CNC 硬件技术概述 .....	18
2.4.2 VersioBus 光纤数字网络 .....	18
2.4.3 EtherCAT 通讯平台 .....	20
2.4.4 专用通讯平台 .....	21
2.5 本章小结 .....	22
<b>第三章 EtherCAT 工业以太网技术研究</b> .....	<b>23</b>
3.1 概述 .....	23
3.2 EtherCAT 的组成及工作原理 .....	23
3.3 EtherCAT 拓扑结构 .....	25
3.4 EtherCAT 物理层 .....	25
3.5 EtherCAT 数据链路层 .....	26
3.5.1 数据帧格式及寻址方式 .....	26
3.5.2 FMMU 总线内存管理单元 .....	28
3.5.3 SM 同步管理器 .....	28
3.5.4 DC 分布时钟 .....	30

3.6 EtherCAT 应用层 .....	32
3.7 EtherCAT 从站实现 .....	33
3.8 本章小结.....	35
<b>第四章 基于 EtherCAT 网络开放式数控系统的研究.....</b>	<b>36</b>
4.1 ADX CNC 的 EtherCAT 主站功能.....	36
4.2 ADX CNC 的 EtherCAT 主站实现.....	37
4.2.1 RTX 实时 TCP/IP 协议概述.....	37
4.2.2 RTX 实时 TCP/IP 协议栈与驱动配置.....	38
4.2.2.1 TCP/IP .....	39
4.2.2.2 rtndn.....	39
4.2.2.3 DNS .....	42
4.2.3 ADX CNC 中 EtherCAT 网络的实时 TCP/IP 协议实现.....	42
4.3 ADX CNC 的 EtherCAT 网络通信.....	44
4.3.1 ADX CNC 主站配置.....	45
4.3.2 ADX CNC 从站描述文件.....	45
4.3.3 ADX CNC 主站状态机的转换及其操作.....	47
4.3.4 ADX CNC 中的 EtherCAT 数据帧.....	48
4.4 ADX CNC 正常运行 .....	49
4.5 本章小结.....	51
<b>第五章 ADX CNC 应用方案开发与实例.....</b>	<b>53</b>
5.1 硬件.....	53
5.1.1 工控机平台 .....	53
5.1.2 数控系统操作面板.....	55
5.1.3 数控系统接口模块.....	57
5.1.3.1 IX-320 数字量输入输出模块.....	57
5.1.3.2 DX-110A 数控系统接口模块.....	59
5.1.3.3 DX-150P 四轴通用伺服脉冲接口模块.....	59
5.2 软件.....	60
5.2.1 Windows XPE 嵌入式系统裁剪.....	60
5.2.1.1 XPE 嵌入式操作系统.....	60
5.2.1.2 XPE 开发工具.....	61
5.2.1.3 XPE 开发流程.....	61
5.2.2 数控系统人机交互界面开发.....	62
5.2.2.1 HMI 界面组成.....	63
5.2.2.2 HMI 框架设计.....	63
5.2.2.3 HMI 开发工具.....	64
5.3 应用方案.....	65
5.3.1 全数字总线伺服方案.....	65
5.3.2 通用脉冲伺服方案.....	66
5.4 应用实例.....	67
5.4.1 三轴立式加工中心概述.....	67
5.4.2 全数字总线伺服方案实施.....	68

5.4.2.1 系统选型 .....	68
5.4.2.2 整机调试 .....	69
5.4.2.3 实验结果 .....	70
<b>5.5 本章小结 .....</b>	<b>72</b>
<b>第六章 总结与展望 .....</b>	<b>73</b>
6.1 总结 .....	73
6.2 展望 .....	74
参考文献 .....	75
攻读硕士学位期间发表的论文及专利 .....	78
致 谢 .....	79
附 录 .....	80



## Table of Contents

<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CNC System and Machine Tools .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Open CNC System Technology .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Industrial Ethernet Bus Technology .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Conspectus of the Research .....</b>	<b>6</b>
1.4.1 Background of the Research .....	6
1.4.2 Main Research of this Article .....	8
<b>Chapter 2 Research on Pure-Soft Open ServoWorks CNC .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Overview of ServoWorks CNC .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Hardware and Operating System Platform of ServoWorks CNC ...</b>	<b>11</b>
2.2.1 Hardware Platform for ServoWorks CNC .....	11
2.2.2 Operating System Platform for ServoWorks CNC .....	12
2.2.3 IntervalZero RTX RealTime Subsystem .....	13
<b>2.3 Software Architecture of ServoWorks CNC .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Overview of Software Architecture .....	14
2.3.2 ServoWorks CNC Engines .....	15
2.3.2.1 ServoWorks Motion Engine .....	15
2.3.2.2 ServoWorks G Code Parser .....	16
2.3.2.3 ServoWorks PLC Engine .....	16
2.3.3 ServoWorks RealTime DLL .....	17
2.3.4 ServoWorks Develop Kit .....	17
<b>2.4 Communications Hardware Platforms of ServoWorks CNC ....</b>	<b>18</b>
2.4.1 Overview of Hardware Technology .....	18
2.4.2 VersioBus Interface System .....	18
2.4.3 EtherCAT Communications Platforms .....	20
2.4.4 Special Communications Platforms .....	21
<b>2.5 Summary .....</b>	<b>22</b>
<b>Chapter 3 Research on EtherCAT Industrial Ethernet Technology .</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Overview .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Component and Working Prief EtherCAT .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Topology Structure of EtherCAT .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Physical Layer of EtherCAT .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Data Link Layer of EtherCAT .....</b>	<b>26</b>
3.5.1 Data Frame Format and Addressing Mode .....	26
3.5.2 FMMU .....	28
3.5.3 SM .....	28
3.5.4 DC .....	30
<b>3.6 Application Layer of EtherCAT .....</b>	<b>32</b>

<b>3.7 EtherCAT Slave Station.....</b>	<b>33</b>
<b>3.8 Summary.....</b>	<b>35</b>
<b>Chapter4 Research on Open CNC System Based on EtherCAT.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 EtherCAT Master Function of ADX CNC.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 EtherCAT Master Realization of ADX CNC.....</b>	<b>37</b>
4.2.1 Protocol of RTX Real-time TCP/IP.....	37
4.2.2 Protocol Stack and Driver Setting of RTX Real-time TCP/IP.....	38
4.2.2.1 TCP/IP.....	39
4.2.2.2 rtndn.....	39
4.2.2.3 DNS.....	42
4.2.3 Real-time EtherCAT TCP/IP Protocol Realization in ADX CNC.....	42
<b>4.3 EtherCAT Network Communication on ADX CNC.....</b>	<b>44</b>
4.3.1 Host Configuration of ADX CNC.....	45
4.3.2 Slave Profile of ADX CNC.....	45
4.3.3 ESM Changing and Operation of ADX CNC.....	47
4.3.4 EtherCAT Data Frame of ADX CNC.....	48
<b>4.4 ADX CNC Running.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Summary.....</b>	<b>51</b>
<b>Chapter 5 Application Solution and Sample of ADX CNC.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Hardware.....</b>	<b>53</b>
5.1.1 IPC Platform.....	53
5.1.2 Operation Panel for ADX CNC.....	55
5.1.3 Interfaces Modules for ADX CNC.....	57
5.1.3.1 IX-320 Digital Input and Output Module.....	57
5.1.3.2 DX-110A CNC Multifunction Module.....	59
5.1.3.3 DX-150P Four Axes Common Pulse Servo Module.....	59
<b>5.2 Software.....</b>	<b>60</b>
5.2.1 Windows XP Embedded System Cutting.....	60
5.2.1.1 XPE Embedded System.....	60
5.2.1.2 XPE Development Tool.....	61
5.2.1.3 XPE Development Process.....	61
5.2.2 Development of HMI for ADX CNC.....	62
5.2.2.1 HMI Compose.....	63
5.2.2.2 HMI Frame Design.....	63
5.2.2.3 HMI Development Tool.....	64
<b>5.3 Application Solution.....</b>	<b>65</b>
5.3.1 Digital Bus Servo Solution.....	65
5.3.2 Common Pulse Servo Solution.....	66
<b>5.4 Application Sample.....</b>	<b>67</b>
5.4.1 Overview of Three Axes Vertical Machining Center.....	67
5.4.2 Application of Digital Bus Servo Solution.....	68
5.4.2.1 System Selection.....	68

5.4.2.2 Machine Commissioning ..... 69

5.4.2.3 Test and Conclusion ..... 70

**5.5 Summary..... 72**

**Chapter 6 Conclusions and Prospects.....73**

**6.1 Conclusions.....73**

**6.2 Prospects.....74**

**References.....75**

**Pubilcations .....78**

**Acknowledgement.....79**

**Appendix .....80**

厦门大学博士论文摘要

## 第一章 绪论

### 1.1 数控系统与数控机床

我国国家标准（GB8129-87）对“机床数控技术”做了如下定义：“用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法，简称数控(NC)”<sup>[1]</sup>。数控系统是计算机技术在机械制造领域的一种典型应用，它集计算机、机械加工、电子和自动控制等多项技术于一体，是近年来装备制造业中发展十分迅速的一项高新技术。数控系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序并将其译码，从而使机床动作并加工零件。

美国麻省理工学院 1952 年研制出第一台试验性数控铣床，半个多世纪以来，伴随着电子技术和控制技术的飞速发展，当今的数控系统功能已经非常强大，与此同时，加工技术及其他一些相关技术的发展对数控系统的发展和进步也提出了新的要求。纵观这六十年间，影响数控技术发展最主要的因素是科学技术特别是计算机技术的发展和制造业市场需求的驱动，总结起来分为两个阶段和六个时代<sup>[2,3]</sup>：

#### 一、硬件数控(NC)

第 1 代：1952 年的电子管

第 2 代：1959 年晶体管分离元件

第 3 代：1965 年的小规模集成电路

#### 二、软件数控(CNC)

第 4 代：1970 年的小型计算机

第 5 代：1974 年的微处理器

第 6 代：1990 年基于 PC 机（PC-BASED）

数控机床是数字控制机床的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。从 20 世纪 70 年代以来，以数控机床为代表的现代基础装备机械已成为制造业最重要的技术特征，数控机床水平的高低和机床数控化率的高低已成为衡量一

个国家工业化水平的重要标志。随着数控技术的发展和在生产过程中的广泛应用,传统的机械工业的产业结构和生产模式发生了深刻地变化,加工精度和速度提高,生产效率大幅度增长,加工品质得到了极大完善,并实现了人工很难做到的对各种复杂工件的自动加工。数控系统的发展也奠定了柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的基础<sup>[2]</sup>。

现代数控机床综合应用机械设计与制造工艺、计算机自动控制技术、精密测量与检测、信息技术、人工智能等技术领域中的最新成果,将朝着高速化、精密化、复合化、柔性化、极端化等方向发展<sup>[4]</sup>。面临剧烈的市场竞争,制造企业的核心在于高效快速地生产出高质量的能满足消费者动态变化的需求的产品。作为制造企业的基本设备—数控机床也朝着这个核心目标发展,呈现出以下发展情况和趋势:

- 1、高精度、高速度、高可靠性
- 2、工艺复合化
- 3、网络化
- 4、智能化、开放
- 5、环保和极端结构机床

值得一提的是极端化是指数控机床有朝着极小化和极大化方向发展的趋势。在国防、航空、航天等行业中大型化装备的制造方面,需要大型数控机床,而微纳米技术的发展需要有能适应微型尺寸加工的新型制造工艺和装备,驱动数控机床会朝着极小化方向发展。

## 1.2 开放式数控系统技术

开放式结构控制器(OPEN ARCHITECTURE CONTROLLER)的概念源于上世纪80年代美国国防部发起的下一代控制器NGC(Next Generation Controller)计划<sup>[5]</sup>。IEEE关于开放式系统的定义是:能够在多种平台上运行,可以和其他系统互操作,并能给用户提供一种统一风格的交互方式。开放式系统技术应用于数控技术上,就是所谓的开放式数控系统<sup>[6]</sup>。

自上世纪 90 年代初出现以来，开放式数控系统被公认为数控系统发展的最重要的方向之一，其技术特点包括以下几个方面：

(1) 开放性。开放性意味着系统与平台无关，不依赖特定的硬件平台和操作系统平台，用户可以根据自己的需要配置系统的功能和人机界面，选择性增减或修改系统的软硬件结构，以达到最优化配置。

(2) 标准化。要达到任意匹配设置，就必须要做到标准化，包括开发语言以及外部接口的标准化，外部接口包括人机界面接口、NC/PLC 编程接口、系统结构各层之间的接口等。

(3) 模块化。模块化是以标准化作为前提的，遵循国际和行业的标准，将系统的结构按功能和类别分成不同的模块。模块化结构使得系统具有互换性和可移植性，这样对系统的使用者来说具有充分的选择余地，能在低成本条件下组建高性能的系统；对系统供应商来说，这意味着在激烈的竞争环境下的专业化，从大而全转变为小而精。这些都非常有利于系统的进一步发展，也有利于标准化。

(4) 二次开发。开放式系统应该允许用户进行二次开发。通过厂家提供的开发工具，用户可随时对系统的各个方面做出个性化的修改，更深层次的二次开发将允许用户在系统内集成自己设计的功能模块。

近些年，世界各国不断投入大量的人力和财力对开放式数控系统做深入的研究与开发应用，推出了众多的开放式系统，其中最为典型和影响力的有美国的下一代控制器计划 NGC 和开放式模块化体系结构控制器 OMAC，欧共体的信息技术研究发展战略计划 ESPRIT 以及开放式控制系统体系结构 OSACA，日本的控制器开放系统环境计划 OSEC 等<sup>[7]</sup>。除此之外，国内的华中数控等也在这方面做了很多有益的探索。

纯软件开放式 CNC 的全部核心功能（包括插补运算、加减速运算和 PLC 等实时任务）均由运行在 PC 平台上的软件实现<sup>[8]</sup>。这类系统借助于现有的操作系统平台，无需专用硬件，可实现数控系统装置与伺服系统的彻底分离和任意搭配，在提高系统的通用性的同时，极大的降低了成本。

开放式数控系统在软件上基于操作系统编程标准，在硬件上基于通用 PC 硬件标准，所以在理论上可以实现完全开放。目前典型的产品有：美国 MDSI 公司

的 Open CNC、德国 Power Automation 公司的 PA80000NT、德国 BECKHOFF 公司的 TwinCAT CNC 和本文所介绍的爱迪纳控制技术（厦门）有限公司的 ADX CNC。

### 1.3 工业以太网总线技术

以太网技术自诞生以来，由于具有成本低、通信速度快、带宽高、兼容性好、软硬件资源丰富、广泛的技术支持基础和强大的持续发展潜力等优点，在办公环境中得到广泛的应用。但是传统以太网由于其自身的不确定性和非实时性的缺点，造成了在实际应用中的障碍，通过对传统以太网进行实时性改造和安全可靠性升级，可以满足工业数据通信的实时性及工业现场环境的要求，并可以直接向下延伸应用于工业现场设备间的通信。

工业以太网是普通以太网技术延伸到工业应用环境的产物，一般是指在技术上与商业以太网（即 IEEE802.3 标准）兼容，但在产品设计时，实时性、适用性、可靠性等方面能够满足工业现场需要的以太网<sup>[9]</sup>。按照国际电工委员会 SC65C 的定义，工业以太网是用于工业自动化环境，符合 IEEE802.3 标准，按照 IEEE802.1D-“媒体访问控制网桥”规范和 IEEE802.1Q-“局域网虚拟网桥”规范，对其没有进行任何实时扩展而实现的以太网<sup>[10]</sup>。

工业以太网既属于信息技术，也属于控制网络技术，它是一系列解决方案的集合，是一系列技术的总称<sup>[11]</sup>。由于具有相同的通信协议和接口平台，采用工业以太网能实现办公自动化和工业控制网络的无缝连接。随着实时嵌入式操作系统和嵌入式平台的发展，嵌入式控制器、智能现场测控仪表，乃至 Internet，将能方便地接入以太网控制网络，容易与信息网络集成，组建统一的企业网络。用户无论在什么时间，什么地点，都能使用网络上的各种资源和服务，这种强大的资源共享得益于以太网巨大的用户群，是目前任何一种总线技术所不能比拟的。目前，以 EtherCAT，SERCOS 和 PROFINET 等为代表的高性能工业以太网已在工业领域得到广泛的应用，它们是实现数字化和网络化制造的关键技术。

工业以太网和商业以太网的比较如表 1-1 所列<sup>[12]</sup>。

表 1-1 工业以太网和商业以太网的比较

	工业以太网设备	商用以太网设备
元器件	工业级	商用级
接插件	耐腐蚀、防尘、防水、如加固型 RJ45、DB-9、航空插头等	一般 RJ45
工作电压	24V DC	220V AC
电源冗余	双电源	一般没有
安装方式	DIN 导轨和其他固定安装	桌面、机架等
工作温度	-40℃~85℃、或-20℃~70℃	5℃~40℃
电磁兼容性标准	EN50081-2 (工业级 EMC) EN50082-2 (工业级 EMC)	办公室用 EMC
(MTBF)	至少 10 年	3~5 年

在控制领域，与现场总线相比，工业以太网有以下几个方面的不足，使其取代现场总线的趋势进展缓慢<sup>[13]</sup>。

(1) 工业以太网用以太网帧传输数据，当需要与数据量小但交换频繁的设备通信时，例如 I/O 从站设备，有高额的数据开销。

(2) 单个设备的连接成本较高，因为需要变压器、PHY、MAC 和必需的处理器的。

(3) 实时性差，以太网采用的 CSMA/CD 传输机制无法满足工控领域对时间响应的要求。

(4) 不利的拓扑结构，以太网目前通常采用星形拓扑，这非常不利于系统布线，并且会导致过于复杂的布线工作或大流量通信依赖。

工业以太网的数据链路层和物理层符合 IEEE802.3 规范，传输层采用 TCP/UDP 协议，网络层采用 IP 协议<sup>[14]</sup>。对于非实时数据的传输，网络层以及传输层所采用的 TCP/UDP/IP 协议是适用的，但对于实时数据的传输，如数控系统的插补指令，工业以太网需要解决实时通信问题，才能满足要求。工业以太网的模型结构如图 1.1 所示，虽然部分工业以太网已经在数据链路层添加了实时性调



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库