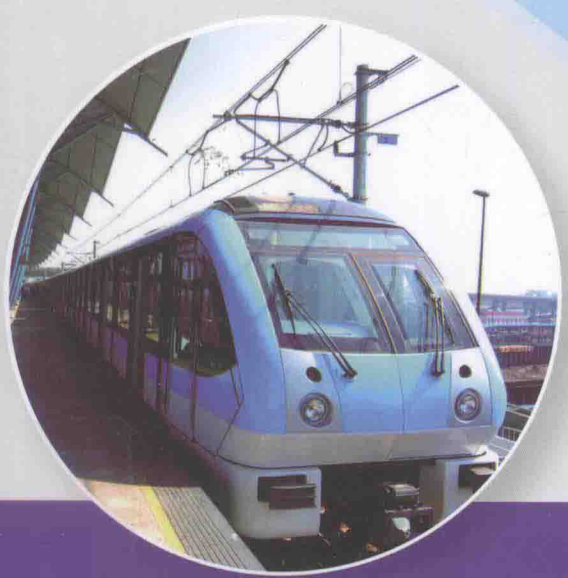
全国城市轨道交通专业高职高专规划教材

城市轨道交通
通信与信号系统

王青林　主　编
倪炳巍　副主编
尹相勇［北京交通大学］　主　审



免费下载
配课件
www.ccpress.com.cn

人民交通出版社
China Communications Press

全国城市轨道交通专业高职高专规划教材

Chengshi Guidao Jiaotong Tongxin yu Xinhao Xitong

城市轨道交通通信与信号系统

王青林　主　编
倪炳巍　副主编
尹相勇（北京交通大学）　主　审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为全国城市轨道交通专业高职高专规划教材。全书共9章，主要内容包括：信号基础设备与通信系统的安全，信号基础设备，轨道电路，车站联锁，区间闭塞，列车自动控制（ATC）系统，ATO与ATS系统，城市轨道交通CBTC系统，城市轨道交通通信系统。

本书可作为高等职业教育城市轨道交通专业课程教材，也可作为城市轨道交通相关专业的教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

城市轨道交通通信与信号系统/王青林主编. —北京：人民交通出版社，2012.8

全国城市轨道交通专业高职高专规划教材

ISBN 978-7-114-10019-2

Ⅰ.①城… Ⅱ.①王… Ⅲ.①城市铁路—交通信号—信号系统—高等职业教育—教材 Ⅳ.①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第195023号

全国城市轨道交通专业高职高专规划教材

书　　名：城市轨道交通通信与信号系统

著 作 者：王青林

责任编辑：任雪莲

出版发行：人民交通出版社股份有限公司

地　　址：（100011）北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网　　址：http://www.ccpress.com.cn

销售电话：（010）59757973

总 经 销：人民交通出版社股份有限公司发行部

经　　销：各地新华书店

印　　刷：北京市密东印刷有限公司

开　　本：787×1092　1/16

印　　张：9.25

字　　数：227千

版　　次：2012年8月　第1版

印　　次：2015年2月　第4次印刷

印　　数：11001-16000册

书　　号：ISBN 978-7-114-10019-2

定　　价：23.00元

全国城市轨道交通专业高职高专规划教材

编审委员会

前言

QIANYAN

随着城市规模的不断扩大和城市人口数量的急剧增加，交通拥挤问题日益突显，城市轨道交通由于具有运能大、速度快、安全准时、乘坐舒适、节约能源以及能够缓解地面交通拥挤和有利于环境保护等多方面的优点，因此采用立体化的快速轨道交通，来解决日益严重的城市交通问题，已经成为城市交通发展的大趋势。通信与信号系统是确保城市轨道交通列车运行安全及提高运营效率的关键设备。

本书详细介绍了关于城市轨道交通通信与信号的有关知识。全书共分9章，主要包括：信号基础设备与通信系统的安全，信号基础设备，轨道电路原理分类，车站联锁的基本知识，区间闭塞相关知识，列车自动控制系统(ATC)概述及ATP原理，ATS与ATO系统的相关知识，城市轨道交通CBTC系统，城市轨道交通通信系统。

本书由辽宁省交通高等专科学校王青林担任主编，吉林交通职业技术学院倪炳巍担任副主编，由北京交通大学交通运输学院尹相勇教授担任主审。具体编写分工为：王青林编写第一章～第三章、第六章；倪炳巍编写第七章；慕威编写第四章；张新宇编写第五章；薛亮编写第八章；韩海玲编写第九章。

在本书编写过程中，得到了各方朋友们的帮助，在此表示衷心的感谢。特别感谢人民交通出版社的领导和编辑们的支持和帮助。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，欢迎各位读者批评指正。

编　者

2012年6月

出版说明

21世纪初，随着我国城市轨道交通建设进入快速发展时期，各地职业院校面临这一大好形势，纷纷开设了城市轨道交通相关专业。为了满足我国城市轨道交通专业高职高专教育对教材建设的需求，我们在人民交通出版社2009年推出的“全国职业教育城市轨道交通专业规划教材”基础上，协同中国交通教育研究会职业教育分会城市轨道交通专业委员会，组织北京交通运输职业学院、南京铁道职业技术学院、上海交通职业技术学院、湖南铁道职业技术学院、广东交通职业技术学院、辽宁省交通高等专科学校等一线资深教师组成的编写团队，同时组建由北京交通大学交通运输学院、苏州大学城市轨道交通学院、香港地铁、北京地铁、京港地铁、上海地铁、南京地铁等资深专家组成的主审团队，联合编写审定了“全国城市轨道交通专业高职高专规划教材”。

为了做好教材编写工作，促进和规范城市轨道交通行业职业教育教材体系的建设，打造更为精品的城市轨道交通专业教材，我们根据目前职业教育“校企合作，工学结合”的教学改革形势，在多方面征求各院校的意见后，于2012年推出以下16种：

《城市轨道交通概论（第2版）》

《城市轨道交通客运服务英语（第2版）》

《城市轨道交通客运组织（第2版）》

《城市轨道交通行车组织（第2版）》

《城市轨道交通运营安全（第2版）》

《城市轨道交通票务管理（第2版）》

《城市轨道交通车站设备(第2版)》
《城市轨道交通客运服务(第2版)》
《城市轨道交通通信信号(第2版)》
《城市轨道交通车辆构造》
《城市轨道交通导论》
《城市轨道交通运营组织》
《城市轨道交通通信与信号系统》
《城市轨道交通安全管理》
《城市轨道交通设备管理》
《城市轨道交通调度指挥》

本套教材具有以下特点:

1. 体现了工学结合的优势。教材编写过程努力做到了校企结合,将北京、上海、广州、南京等地先进的地铁运营管理经验吸收进来,极大地丰富了教材内容。

2. 突出了职业教育的特色。教材内容的组织围绕职业能力的形成,侧重于实际工作岗位操作技能的培养。

3. 遵循了形式服务于内容的原则。教材对理论的阐述以应用为目的,以够用为尺度。语言简洁明了,通俗易懂;版式生动活泼、图文并茂。

4. 整套教材配有教学课件,读者可于人民交通出版社网站免费下载;单元后附有复习思考题,部分单元还附有实训内容。

5. 整套教材配有课程标准,以便师生教学参考。

希望该套教材的出版对职业院校城市轨道交通专业教材体系建设有所裨益。

全国城市轨道交通专业高职高专规划教材

编审委员会

2012年7月

目录 MULU

第一章　信号基础设备与通信系统的安全

内容提要

1. 了解信号与通信系统的基本内容；
2. 掌握故障—安全原理的基本内容；
3. 了解信号安全技术原则。

城市轨道交通信号系统是城市轨道交通的重要基础设施之一，是确保列车的运行安全和提高行车效率的保障。城市轨道交通列车运行速度低，但运行密度大，站间距离短，因此要求列车自动控制（ATC）系统具有智能化、数字化、模块化等特点。ATC 包括 ATO（列车自动驾驶）、ATP（列车自动防护）、ATS（列车自动监控）三个子系统，通过通信网络实现地面控制与车上控制结合、本地控制与中央控制结合。此外，城市轨道交通信号设备还包括继电器、轨道电路、转辙机、信号机等基础设备。城市轨道交通通信系统为传输服务、给旅客提供信息、保证车站与中控中心的视听网路正常运行，并对各个子系统内的故障进行自检和报警，确保整个通信系统可靠运行。

第一节　城市轨道交通信号与通信系统概述

一、城市轨道交通通信系统简介

城市轨道交通通信系统直接为轨道交通运营和管理服务，是指挥列车运行、进行运营管理、公务联络和传递各种信息的重要手段，是保证列车安全、快速、高效运行不可缺少的综合系统。它主要由以下分系统组成：传输系统、公务电话系统、专用电话系统、广播系统、电视监控系统、无线通信系统、时钟系统以及电源和接地系统。这是一个复杂的大系统，各个部分互相结合、协调，完成具体的任务。现代城市轨道交通的快捷、高效、可靠、安全等，与完善而先进的通信系统密不可分。

基于通信的列车控制系统 CBTC（Communication-Based Train Control，简称 CBTC 系统）是一个连续、自动化的列车控制系统，它利用高解析技术侦测列车位置。CBTC 系统采用连续、高容量且实现车辆轨旁双向通信的数据通信系统。CBTC 系统下的 ATP 设备具有执行自动列车保护的能力；ATO 实现自动列车操作；ATS 具有自动列车监督等功能。

二、城市轨道交通信号系统的作用

城市轨道交通信号系统是以标志物、灯具、仪表和音响等向行车人员传送机车车辆运行条

件、行车设备状态和行车有关指示。其作用是保证机车车辆安全有序地行车与进行调车作业。轨道交通信号是随着第一列列车在英国的产生而出现的。早期的信号是十分简陋的，现代信号借助电子工业的发展，使行车指挥系统实现了自动化，列车运行也向着自动驾驶与自动控制方向发展。

我国于1907年在大连至长春的铁路上开始安装了臂板式信号机，1951年自行设计与制造的进路继电式集中联锁设备在衡阳铁路车站使用。此后，在各铁路线上逐步配置了自动闭塞、集中联锁、调度集中控制等设备。

信号按其作用，可分为指挥列车运行的行车信号和指挥调车作业的调车信号；按信号设置的处所，可分为车站信号、区间信号，以及行车指挥和列车运行自动化信号等；按信号显示制式，可分为选路制信号和速差制信号；按结构，可分为臂板信号和色灯、灯列信号。

轨道交通信号设备可分为三大类：一是信号机，其原始形式是手灯、手旗、明火、声笛等，现代信号机主要有进、出站信号机，通过信号机，进路信号机，驼峰信号机，驼峰辅助信号机，接近信号机，遮断信号机，调车信号机，防护信号机，减速信号机和停车信号机等，以及其他复示信号机等辅助性信号机；二是标志，主要有预告标、站界标、警冲标、鸣笛标、作业标、减速地点标及机车停止位置标等；三是表示器，其作用是补充说明信号的意义，主要有发车表示器、发车线路表示器、进路表示器、调车表示器、道岔表示器等。

三、轨道交通信号系统的发展

城市轨道交通通信系统将向两个方向发展：一是宽带化趋势。二是各种新系统的开发应用。为不断完善城市轨道交通的服务，相应功能的子系统将不断融入城市轨道交通信号与通信系统中。

第二节　故障—安全原理

一、安全性和可靠性的相关概念

1. 安全性

系统在规定的条件下，在规定的时间内，不陷入危险状态的性能。

2. 可靠性

系统在规定的条件下，在规定的时间内，不发生故障的特性。可靠性是反映产品质量的一个重要指标。在与安全有关的系统中，安全性也是反映质量的重要指标，信号系统中它比可靠性更重要。

3. 失效

失效是导致错误发生的主要原因。包含以下内容：一是系统或系统的部件不能在规定的限制内执行所要求的功能；二是一个功能单元执行所要求的功能的能力的终结；三是程序操作偏离了程序的需求。

4. 错误

错误是指系统陷入不正常状态或执行非正常操作。错误可能由硬件失效、软件失效、环境干扰等原因引起。

5. 故障

由于错误造成系统的部件、软件或系统丧失必要的功能。即由于各种原因所造成的系统的不正常状态。故障可按时间间隔、值的类型、故障影响范围进行如下分类。

(1)按时间间隔,可分为永久性故障和瞬时性故障。永久性故障是由部件或软件中的不可逆变化引起的,它永久地将原逻辑或原数据变为另一种逻辑或数据。瞬时性故障是持续时间不超过一定值的故障。故障只引起部件或软件运行结果当前值的变化,而不导致不可逆变化。

(2)按值的类型,可分为确定值故障和非确定值故障。确定值故障的故障变量保持在一个恒定的值上,非确定值故障的故障变量在一定的范围内不断变动。

(3)按故障影响范围,可分为局部故障和分布式故障。局部故障通常指只影响局部逻辑线路或某一软件模块的故障。分布式故障(相当于多故障)是指包含有两个或两个以上逻辑部件或软件模块的故障,以及一个子系统或整个系统的故障。分布式故障可能引起灾害性后果。

6. 失误

失误是指人为的失败和错误。通常指人的错误操作。

7. 危害

危害是指有可能给人类或人类财产带来不良影响的事情。

8. 风险

风险是表示危及安全事件发生的频度,以及事件危害程度(或严重程度)的指标。

9. 容错

容错指一个系统在其中故障已经出现的情况下仍能提供要求功能存活的属性。

10. 安全性评估

采用解析或测试的方法,对系统安全性能进行估算和分析,从而对系统安全性能作出定量或定性的评价。用于安全性评估的指标主要是安全性完善度和安全性完善等级。

(1)安全性完善度:在给定的条件下,到给定的时刻 t,系统维持所要求安全功能的概率。它是表示系统所能达到安全性要求程度高低的指标。

(2)安全性完善等级:表示系统所能达到的安全性水平等级。通常较低的等级表示安全性水平低,较高的等级表示安全性水平高(例如:1 级安全性完善等级为最低级)。

二、故障—安全原理

故障—安全是指系统在发生故障的情况下,能够维持安全状态或向安全状态转移的这种与安全相关的系统特性。在信号系统中,常称之为故障导向安全原则,又称 FS(Fail-Safe)原则。

信号“故障—安全”技术是随着轨道交通控制系统的进步而发展起来的。信号控制设备率先完成了故障—安全的设备化。从臂板信号机、机械联锁到信号继电器、轨道电路,直到继电联锁,不仅实现了故障状态向安全状态转移的功能,而且为信号安全技术提供了许多可以借鉴的重要方法,因而成为现代轨道交通信号控制系统设计中的重要参考内容。

信号系统的重要作用之一是保证列车运行的安全,这种安全的实现总是以“系统故障时

让列车停止运行”为首要方针。规定系统故障时把信号变为“让列车停止运行”的状态作为安全侧，这是信号安全技术的一个重要特点。由于司机对信号显示的信任和服从，一旦让列车停止运行信号故障，出现错误显示，将会造成人员伤亡和财产的巨大损失。为了保证列车运行的安全，在信号设备发生故障时，绝对禁止向显示“进行信号”的危险侧动作，而必须导向显示“停止信号”的安全侧。也就是说，在信号设备发生故障时，显示绝对不能“升级”。

随着可靠性理论的发展，对故障的分析主要是建立在概率论的基础上。进而揭示了故障—安全也应是一个具有概率特性的概念。首先，客观上百分之百可靠的信号设备是不存在的，即设备的故障是不可避免的。其次，用全故障率 λ_t 表示，希望它足够小，但不可能为零。

三、系统输入输出信号安全要求和对策

1. 故障—安全输入接口

在微机化的信号设备中，监控对象的状态，通常用继电器接点的状态表示，这种继电器接点状态输入到计算机的输入接口必须满足故障—安全原则。为此，故障—安全输入接口必须满足以下两点：一是采用光电隔离技术；二是采用编码输入或过程输入方式，以便有效地实现故障—安全原则。过程输入方式又分为两类：一类是输入接口采用多重模块结构，并使用软件进行校验的空间冗余法；另一类是采用诊断技术检查输入值的时间冗余法。

2. 故障—安全输出接口

在微机化的轨道信号设备中，计算机输出的控制命令最终用信号继电器来执行。从计算机到信号继电器之间需要采用代码—动/静态以及动/静态—电平输出两级变换电路，使其输出足够的驱动功率，并满足故障—安全原则的要求。

代码—动/静态变换电路是计算机输出控制信号必须经历的过程。这种变换可分成软件变换和硬件变换两种实现方式。软件变换是根据逻辑运算结果（代码形式），在需要输出危险侧控制信号时，借助软件的执行使计算机不断地输出脉冲串。这种方式节省了硬件，但占用了计算机的处理时间。硬件变换可以采用振荡式的故障—安全逻辑元件实现，还可以采用移位寄存器实现。后者的基本原理是将危险侧代码并行输送到移位寄存器中，然后再由控制时钟推动移位寄存器，使其输出串行脉冲序列。当输入为脉冲序列时，动/静态—电平变换电路输出均为高电平。而在输入为稳态电平或电路发生故障时均为低电平，所以，称这类电路是动态鉴别电路，又称为故障—安全驱动电路。

四、安全性评估

1. 硬件系统的可靠性和安全性评估指标

对于信号应用微机系统，为了满足运营高效和安全的要求，必须具有极高的可靠性和安全性。但无论系统的可靠性和安全性多高，系统故障不可避免，但采取各种可靠性技术措施可以帮助系统延长无故障工作时间。在定量地考虑系统的可靠性时，一般用平均故障间隔时间 MTBF（Mean Time Between Failures）来衡量系统的可靠性。对信号设备而言，不仅要求它尽可能少的发生故障，而且更要求它在发生了故障后，不致出现危及行车安全的后果。因此，采用故障—安全技术，可使系统不发生危险侧故障。但实践证明，绝对不发生危险侧故障是不可能的，只能采取措施使危险侧故障发生的概率尽可能小。在定量地考查系统的安全性时，可用危险侧故障发生的概率安全度作为衡量系统的指标。实际上，可靠性和安全性是密切相关的，为

了计算上的统一，采用系统的平均危险侧故障间隔时间 MTBFAS(Mean Time Between Failures Against Safe)衡量系统的安全性。

对于信号应用的微机系统是个非常复杂的系统，对于它的可靠性和安全性进行精确定量计算十分复杂。为了便于计算，有必要作一些合理的简化和假设。首先，在系统中若有表决器、比较器、自动转换装置以及系统之间接口电路等模块，则认为它们较微机系统具有更高的可靠性，另外，为了便于不同冗余结构的系统之间进行比较，假定各系统所用微机可靠性指标相同。

在计算系统的可靠度时，如果系统是动态切换冗余结构或是三中取二冗余结构，则当一个微机系统发生故障时整个系统仍能正常工作，即不影响系统的运行。若在规定的修理时间 T 内已将发生故障的微机更换(或进行修理)完毕，则系统就可正常地工作下去。只有在规定的修理时间 T 内，另一个微机系统也发生了故障才会导致系统瘫痪。因此，修复时间 T 是计算系统可靠度的一个重要参数。实际上，修复时间 T 包括间接工时和直接工时两部分。间接工时是指从微机发生故障之时到维修人员开始修理这段时间，直接工时是指具体的修理时间。

在计算安全度时，需要分析在什么情况下才发生危险侧故障。在采用双重软件进行比较的情况下，假定只有当发生两次故障且两次故障的后果一致并且不能通过比较被发现时，才有导致危险侧故障的可能。具体的情况是：

(1)微机第一次发生故障，使得基本的或冗余的信息中出现了一个错误的信息。

(2)在第一次故障尚未被检出期间，或者说在检测时间内又发生了第二次故障。对于动态切换系统来说，是指同一微机发生了第二次故障，对于三中取二系统来说，是指另一个微机系统发生了故障，这次故障也产生了另一个错误信息。

(3)两个错误的信息恰巧构成了两个相同且错误的有效代码，因而不能检出。

(4)错误的有效代码又是危险侧代码，从而产生了一个危及行车安全的控制命令。

总之，只有上述四个条件同时出现时才算是出现了危险侧故障。

2. 软件系统的可靠性和安全性评估

1)软件的可靠性评估

软件可靠性是指软件在所规定的环境条件下和规定的时间内，一直能按需求规格说明，正确地完成任务的能力。软件可靠性的概率度量则称为软件可靠度。

面向用户的软件可靠度定义，可以有以下两种：①程序在规定的时间内对一组随机选择的输入数据能给出正确输出的概率；②程序在规定的时间和规定的用户环境中，对一组典型的输入数据，能给出正确输出的概率。

到目前为止，软件可靠性模型有 30 多种，对这些模型可以按软件生存周期的各个阶段加以分类。这是以模型的主要特征作为分类的依据。按此种分类方法，可以分为测试与排错阶段、确认阶段、运行阶段、维护阶段的可靠性模型。在软件测试与排错阶段，通常是发现错误立即修正，因而可靠度增加，所以，这一阶段的模型一般都称为软件可靠性增长模型。在确认阶段，为了估计软件可靠性，要对软件进行大量测试，测试发现错误时不进行改正。软件运行阶段的可靠性模型基本上是以输入数据为基础的模型。在这一阶段，软件是不断被确认的。在维护阶段，可以改正软件中的错误，增加新的特征并改进算法。这些活动都会影响可靠性，可以用确认阶段的模型对软件可靠性进行估计。

2)软件系统的安全性评估

软件系统的安全性不像可靠性那样适合于定量处理，因为意外事故通常可由多种因素引

起，概率小，评估极为困难。但对软件系统的安全性的度量研究仍在进行。

为了进行软件安全性评估，必须掌握下列各种资料和信息：

(1)软件系统分系统说明、软件需求说明、各种接口说明等有关资料；

(2)系统生存周期中软件及其组成单元的工作情况、功能、工作时序等有关资料；

(3)程序的各种功能的流程图、编程语言、储存和时序等相关资料；

(4)系统及软件在测试、生产、运输、装卸、储存、维修等各个环节与安全有关的资料；

(5)已知的危险事件源，包括能源及有毒物源，特别是可由软件控制的危险事件源；

(6)软件开发计划、软件质量评估计划、软件配置管理计划和其他系统、分系统开发计划的文档；

(7)系统测试计划、软件测试计划和其他测试文档。

软件安全性分析包括以下7个工作项目：①软件需求危险分析；②概要设计危险分析；③详细设计危险分析；④软件编程危险分析；⑤软件安全性分析；⑥软件与用户接口危险分析；⑦软件更改危险分析。

软件更改危险分析是用来考查和分析说明书、软件设计、源程序和目标程序的更改对安全性的影响。

第三节　信号安全技术

一、故障—安全计算机系统

1. 概述

在信号设备计算机化的进程中，首先要解决的一个重要问题，就是如何构造一个故障—安全计算机系统。

(1)故障—安全计算机系统包括三大部分：

①故障—安全计算机：实现数据处理过程的故障—安全；

②输入/输出接口：实现数据采集和控制过程的故障—安全；

③信息传输：实现远距离数据传输过程的故障—安全。

(2)故障—安全计算机的构成方法：采用非对称性错误特性元件的构成方法；采用通用的对称性错误特性元件的构成方法；采用通用计算机或处理器的构成方法。上述方案中的前两种由于结构的复杂性、可靠性、经济性上的原因，未能推广应用。采用硬件和软件冗余技术和故障诊断技术，将通用计算机的处理结果进行相互比较，发现故障时使输出导向安全侧的方法，在信号设备计算机化的过程中得到推广，各国信号工作者研制了多种实施方案，大致可分为软件相异性和硬件相异性两大类。

软件的相异性就是在一台微型计算机上配置两套相异的软件，借此进行故障诊断和错误检测，从而实现故障—安全。这类方式包括以下三种实现形式：①双版本软件方式；②软件自校验方式；③数据的相异性方式。

硬件的相异性就是把相同的软件配置在两台微型计算机上，高频度地对数据(广义的)进行校验，在检出异常时，把输出保持在安全状态的一种方式。这类方式也包括以下三种实现形式：①紧密耦合的总线同步式；②时差同步式；③程序同步式。

2. 信号设备微型计算机化的主要特点

为了有效地解决信号设备微机化的故障—安全问题，应详细分析微机化的信号设备与现行信号设备之间的差异，从而充分认识微机化信号设备的主要特点，从使用的器件、使用的技术、设备的功能、设备的抗干扰能力四个方面来看，微机化的信号设备具有如下特点：采用了集成电路芯片和利用软件实现逻辑运算及故障检测、诊断，从而使设备具有高速率、高智能处理能力，并且具有更高的可靠性、容错性能和安全性。但是，由于设备自身的对称性错误特性和低抗干扰能力，使整个设备在抗干扰方面必须采用特殊的处理对策和加固技术，从而不仅能充分发挥高速化、高智能处理能力，而且能够保证设备的故障—安全。

二、硬件安全性技术分类

在微机化的信号设备中，通过硬件实现故障—安全性能的技术主要有以下几类：

(1)多重化技术；

(2)高可靠技术；

(3)故障检测技术；

(4)电路构成技术。

三、软件安全性技术分类

在微机化的信号设备中，通过软件实现故障—安全性能的技术主要有以下几类：

(1)高可靠技术；

(2)故障检测技术；

(3)故障屏蔽和恢复技术；

(4)人机技术。

四、容 错 技 术

1. 概述

避错技术是采用正确的设计和质量控制方法，尽量避免把故障引进系统，试图构造一个不包含故障和错误的“完善”系统的技术手段。但要绝对构成一个不包含错误的系统是不可能的，只可能使系统中包含的错误少到一定程度，一旦系统出了故障，则必须通过故障检测和诊断确定故障部位，进而排除故障、修复系统，使系统恢复正常。

容错技术则是指采用外加资源的冗余技术，使系统出现某些硬件故障或软件错误时，仍能正确执行规定的程序或实现规定的功能。也可以说，容错技术可使过程不因系统中的故障而被中止或修改，并且执行的结果也不包含系统中故障引起的差错。容错的基本思想是在系统体系结构上精心设计，利用冗余的硬件资源或软件资源达到掩蔽故障的影响，从而自动地恢复系统或达到安全停机的目的，因而在信号应用微机领域得到广泛的应用。

2. 实现容错技术的主要方法

容错技术是依靠外加资源的方法来换取可靠性的。外加资源的方法很多，主要有外加硬件、外加信息、外加时间和外加软件等方法，对这些方法往往要合理使用，才能达到提高可靠性的目的。包括：硬件冗余，时间冗余，信息冗余，以及各种冗余技术的综合应用。

五、信号系统安全技术

信号系统安全技术可分为：

(1)故障—安全技术；

(2)危险侧故障率最小化技术；

(3)防错技术；

(4)故障弱化技术；

(5)储备；

(6)故障检测与诊断；

(7)故障恢复；

(8)多重化技术；

(9)安全余裕。

思 考 题

1. 什么是故障—安全原理？

2. 简述故障的不同分类。

3. 故障—安全计算机系统的组成部分有哪些？

4. 为什么要采用容错技术？