



城市轨道交通系列教材

城市轨道交通安全

CHENGSHI GUIDAO
JIAOTONG ANQUAN



张开冉 编著



科学出版社

城市轨道交通系列教材

内 容 简 介

城市轨道交通安全

张开冉 编著

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通安全 / 张开冉编著. — 北京: 中国铁道出版社, 2013.9
城市轨道交通系列教材
ISBN 958-3-03-038228-1
I. ①城… II. ①张… III. ①城市轨道交通—交通安全—教材
IV. ①U239.2
中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第213219号



NLIC2970936457

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为城市轨道交通系列教材之一,主要介绍了以下四个方面:一是城市轨道交通安全基础理论与方法,包括城市轨道交通安全基本理论和城市轨道交通安全分析与评价方法;二是城市轨道交通运营安全,包括城市轨道交通危险源识别与控制、城市轨道交通运营安全管理、城市轨道交通运营安全保障系统;三是城市轨道交通公共安全,包括城市轨道交通公共安全防范、城市轨道交通反恐安全;四是城市轨道交通事故处理及应急管理。

本书为交通运输类专业本科教材,尤其适于城市轨道交通方向本科生、研究生教学使用,也可供相关工程技术人员、管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通安全 / 张开冉编著. —北京:科学出版社, 2013.9

城市轨道交通系列教材

ISBN 978-7-03-038558-1

I. ①城… II. ①张… III. ①城市轨道交通-交通运输安全-教材

IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 213279 号

责任编辑:杨 岭 于 楠 / 封面设计:墨创文化

责任校对:杨悦蕾 / 责任印制:邱志强

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年9月第一次印刷 印张:21 1/2

字数:480千字

定价:42.00元

“城市轨道交通系列教材”编委会

主 编	蒋葛夫	翟婉明	
副主 编	阎开印		
编 委	张卫华	高 波	高仕斌
	彭其渊	董大伟	潘 炜
	郭 进	易思蓉	张 锦
	金炜东		

前 言

城市轨道交通具有运量大、速度快、安全、准点、环保、节能的特点。城市轨道交通的迅速发展,对改善群众出行条件、解决城市交通拥堵、节约土地资源、促进节能减排、引导城市布局调整和推动城市经济发展都发挥着重要作用。与此同时,城市轨道交通本身的特点决定了城市轨道交通运营必须把安全放在首要位置。

本书总结和吸收了国内外近年来城市轨道交通安全领域内的最新研究成果和实践经验,在多年教学和研究工作的基础上编写完成。本书的内容共分为四篇:一是城市轨道交通安全的基础理论与方法,包括城市轨道交通安全基本理论和城市轨道交通安全分析与评价方法;二是城市轨道交通运营安全,包括城市轨道交通危险源识别与控制、城市轨道交通运营安全管理、城市轨道交通运营安全保障系统和城市轨道交通运营安全评价;三是城市轨道交通公共安全,包括城市轨道交通公共安全防范和轨道交通反恐安全;四是城市轨道交通事故处理及应急管理,包括城市轨道交通火灾事故处理和城市轨道交通应急管理。

本书在编写过程中,得到了西南交通大学交通运输与物流学院教学指导委员会以及安全工程系各位教授的帮助和大力支持,同时,我的研究生罗佳、姚磊、余丰昊月、汪宴宾、张谦等全程参与并做了大量工作,在此一并表示感谢。本书参考了国内外大量书籍、文献,在此谨向这些书籍及文献作者表示崇高的敬意和衷心的感谢。

限于水平,书中难免有不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2013年1月于成都

目 录

前言

第一篇 城市轨道交通安全基础理论与方法	1
第1章 城市轨道交通安全基本理论	2
1.1 安全科学基础知识	3
1.2 可靠性理论	9
1.3 事故致因理论	34
1.4 事故预防理论	45
第2章 城市轨道交通安全分析与评价方法	56
2.1 安全分析方法	56
2.2 安全评价方法	95
第二篇 城市轨道交通运营安全	131
第3章 城市轨道交通运营安全概述	133
3.1 城市轨道交通运营安全基础知识	133
3.2 城市轨道交通运营安全特征	134
3.3 城市轨道交通运营安全影响因素	135
第4章 城市轨道交通危险源识别与控制	144
4.1 城市轨道交通危险源识别	144
4.2 城市轨道交通系统主要危险因素及分级	148
4.3 LEC 评价法	151
4.4 城市轨道交通运营安全控制体系	153
第5章 城市轨道交通运营安全管理	159
5.1 城市轨道交通运营安全管理概述	159
5.2 城市轨道交通运营安全管理的内容	166
5.3 城市轨道交通运营安全信息管理体系	175
第6章 城市轨道交通运营安全保障系统	179
6.1 城市轨道交通运营安全保障系统的特征	179
6.2 城市轨道交通运营安全保障系统的结构	180
第7章 城市轨道交通运营安全评价	187
7.1 城市轨道交通运营安全评价指标体系	187

7.2 城市轨道交通运营安全评价方法	192
第三篇 城市轨道交通公共安全	199
第8章 城市轨道交通公共安全概述	201
8.1 城市轨道交通公共安全特性	201
8.2 城市轨道交通公共安全威胁的类型	201
8.3 城市轨道交通公共安全事件的处置	206
第9章 城市轨道交通公共安全防范	215
9.1 城市轨道交通公共安全防范概述	215
9.2 城市轨道交通公共安全防范系统	218
第10章 城市轨道交通反恐安全	231
10.1 城市轨道交通恐怖活动的综述	231
10.2 城市轨道交通恐怖活动防范	233
10.3 城市轨道交通防(反)恐体系构建	237
第四篇 城市轨道交通事故处理及应急管理	245
第11章 城市轨道交通安全事故处理	247
11.1 城市轨道交通安全事故调查	247
11.2 城市轨道交通安全事故类型及成因	259
11.3 城市轨道交通安全事故预防方法措施	272
第12章 城市轨道交通火灾事故处理	285
12.1 城市轨道交通火灾事故分类和特点	285
12.2 城市轨道交通消防管理措施	286
12.3 日常消防工作管理	291
第13章 城市轨道交通应急管理	298
13.1 应急管理的工作模式及选择	298
13.2 应急预案分类	299
13.3 应急预案编制	299
13.4 城市轨道交通突发事件应急处置体系	304
13.5 地铁火灾应急预案	318
13.6 地铁反(防)恐怖袭击应急预案	326
主要参考文献	335

第一篇 城市轨道交通安全基础 理论与方法



第1章 城市轨道交通安全基本理论

1.1 安全科学基础知识

1.1.1 安全科学概述

1.1.1.1 安全科学的形成与发展

1. 安全科学形成过程

安全问题存在于生产活动的各个方面。随着生产力的发展,生产活动中的安全问题也变得越发突出。为保证生产活动中的安全,形成了安全工程学科。

安全工程学科具有明显的对象性,与具体的生产活动内容密切相关,随生产力的发展而发展。

到20世纪初,许多西方国家建立了与安全科学有关的组织和科研机构。据1977年统计数据,德国共建立36个,英国44个,美国31个,法国46个,荷兰13个。

从内容上看,安全科学包括安全工程、卫生工程、人机工程、灾害预防处理、预防事故的经济学、职业病理论分析、科学防范等内容。

世界各国安全学科发展并不均衡,美国是发展较快的国家,20世纪70年代末,美国的一部分大学就设立了卫生工程、安全工程、安全管理、毒物学和安全教育方面的硕士和博士学位。

最早通过的有关安全的法律保障有1833年英国的《蒸汽船舶检验法》、1848年英国的《公共卫生法》等;最早成立有关安全的研究机构有1879年法国成立的安全保卫中心、1882年比利时成立的劳动卫生中心等。

2. 安全科学理论发展

安全科学的发展从理论上讲大体分为三个阶段:

(1)经验型阶段(事后反馈决策型)。长期以来,人们认为安全仅仅以技术形式依附于生产,从属于生产,仅仅在事故发生后进行调查研究、统计分析和整改措施,以经验作为科学,安全处于被动局面,人们对安全的理解与追求是自发的、模糊的。

(2)事后预测型阶段(预期控制型)。人们对安全有了新的认识,运用事件链分析、系统过程化、动态分析与控制等方法,达到防治事故的目的。安全技术建立在事故统计基础上,这基本属于一种纯反应式的安全处理模式。安全科学缺乏理性,人们仅仅在各种

产业的局部领域发展和应用不同的安全技术,以致对安全规律的认识停留在相互隔离、重复、分散和彼此缺乏内在联系的状态。

(3)综合系统论阶段(综合对策型)。认为事故是人、技术与环境的综合功能残缺所致,安全问题的研究应放在开放系统中,建立安全的科学性、系统性、动态性。从事故的本质中去防治事故,揭示各种安全机理并将其系统化、理论化,变成指导解决各种具体安全问题的科学依据。在这一阶段中,安全科学不仅涉及人体科学和思维科学,而且涉及行为科学、自然科学、社会科学等所有大的科学门类。

20世纪80年代初期,我国安全研究和管理人员深感必须采用系统工程的方法,才能真正改变企业安全工作的被动局面。也就是说,必须首先发现问题,采用系统工程方法找出系统中存在的所有危险,加以辨识、分析和评价,从而找出解决问题的措施,防患于未然。我国的安全研究和应用也大致经历了4个发展阶段:

(1)安全技术工作和系统安全分工合作时期。初期安全工作者和产品系统安全工作者的分工是明确的,前者负责工人的安全,后者负责产品安全,两者分工协作、密切配合,共同完成生产任务。

(2)安全技术工作引进系统安全分析方法阶段。由于系统安全分析是针对系统各个环节本身的特点和环境条件进行定性和定量的安全性分析,作出科学的评价,并据此采取针对性的安全措施,所以这种方法对安全工作十分有用。

(3)安全管理引用安全系统工程方法阶段。由于安全系统工程不仅可以评价各个环节的可靠性和安全性问题,而且对系统开发的各个阶段也可以进行评价。因此,企业的安全管理等阶段(检查、操作、维修、培训)都可以使用这种方法提高系统性和准确性。

(4)以安全系统工程方法改革传统安全工作阶段。在安全工作中广泛使用安全系统工程方法,对传统安全工作进行改革,并不断地在实践中总结经验。目前,贯穿系统科学思想的安管理方法不断涌现,并延伸出很多新学科。

1.1.1.2 安全科学基本概念

1. 安全

安全与否是一种认识,因人而异。安全观可归纳为两种:绝对安全观和相对安全观。

绝对安全观指没有危险、不受威胁、不出事故,即消除能导致人员伤害,发生疾病、死亡,造成设备财产破坏、损失以及危害环境的条件。包括以下几项:

- (1)不存在危险和风险;
- (2)免于能引起人员伤亡或财产损失的条件;
- (3)系统没有引起事故的能力;
- (4)是无事故,没有遭受或引起创伤、损失或损伤。

绝对安全观认为发生死亡、工伤等的概率为零,这在现实生产系统中是不存在的,它是安全的一种极端理想的状态。由于绝对安全观过分强调安全的绝对性,使其应用范围受到了很大的限制,特别是在分析社会—技术系统的安全问题时更是如此。

相对安全观:安全是相对的,绝对安全是不存在的。

相对安全观认为安全就是被判断为不超过允许极限的危险性,也就是指没有受到损害的危险或损害概率低的通用术语。所谓安全是指判明的危险性不超过允许限度。

由相对安全的定义,可获得三个结论:

- (1)安全是在具有一定危险性条件下的状态,安全并非绝对无事故。
- (2)事故与安全是对立的,但事故并不是不安全的全部内容,而只是在安全与不安全这一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变结果的外在表现。
- (3)安全不是瞬间的结果,而是对系统在某一时期、某一阶段过程状态的描述。

需要说明以下5个方面:

- (1)这里所讨论的安全是指生产领域中的安全问题,既不涉及军事或社会意义的安全与保安,也不涉及与疾病有关的安全。
- (2)安全不是瞬间的结果,而是对某种过程状态的描述。
- (3)安全是相对的,绝对安全是不存在的。
- (4)构成安全问题的矛盾双方是安全与危险,而非安全与事故。因此,衡量一个生产系统是否安全,不应仅仅依靠事故指标。
- (5)不同的时代及生产领域,可接受的损失水平是不同的,因而衡量系统是否安全的标准也是不同的。

综上,安全是指在生产活动过程中,能将人或物的损失控制在可接受水平的状态,亦即,安全意味着人或物遭受损失的可能性是可以接受的,若这种可能性超过了可接受的水平,即为不安全。

2. 危险

作为安全的对立面,危险定义为:在生产活动过程中,人或物遭受损失的可能性超出了可接受范围的一种状态。危险与安全一样,是与生产过程共存的过程,是一种连续型的过程状态。危险包含了尚未为人所认识的,以及虽为人们所认识但尚未为人所控制的各种隐患。危险还包含了安全与不安全一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变发生外表现出来的事故结果。

3. 风险

风险是描述系统危险程度的客观量,也称危险性。这主要有两种考虑:一是把风险看成是一个系统内有害事件或非正常事件出现可能性的量度;二是把风险定义为发生一次事故的后果大小与该事故出现概率的乘积。

一般意义上的风险具有概率和后果的二重性: $R=f(p, c)$ 。简单起见,大多数文献中将风险表达为概率与后果的乘积: $R=p \times c$ 。

4. 事故

在牛津词典里,事故被定义为意外的、特别有害的事件;海因里希认为,事故是非计划的、失去控制的事件;伯克霍夫定义事故为人(个人或集体)在为实现某种意图而进行的活动过程中,突然发生的、违反人的意志的、迫使活动暂时或永久停止的事件;甘

拉塔勒等人从更为一般的意义上提出,事故是与系统设计条件具有不可容忍的偏差的事件;吉雷进一步补充说明,事故是指任何计划之外的事件,可能引起或不会引起损失或伤害;还有的学者从能量观点出发解释事故,认为事故是能量逸散的结果,事故是管理不善的反映。

(1)事故的定义。事故是指在生产活动过程中,由于人们受到科学知识和技术力量的限制,或者由于认识上的局限,当前还不能防止,或能防止而未有效控制所发生的违背人们意愿的事件序列。它的发生可能迫使系统暂时或较长期地中断运行,也可能造成人员伤亡、财产损失、环境破坏或者其中二者或三者同时出现。

(2)事故的主要特点。①事故是违背人们意愿的一种现象。②事故的随机性:从表象上看,事故的发生是不确定事件,但其发生形式受必然性的支配,也不可避免地受到偶然性的影响。③事故的因果性:目前尚未认识到的原因;已经认识,但目前尚不可控制的原因;已经认识,目前可以控制而未能有效控制的原因。④事故的潜伏性:危险触发→以一定的逻辑顺序出现的一系列事件→产生不良后果。

(3)事故发生的后果。事故一旦发生,可以造成以下几种后果:①人受到伤害,物受到损失;②人受到伤害,物未受损失;③人未受伤害,物受到损失;④人、物均未受到伤害或损失。但是,事故≠事故后果,事故和事故后果是互为因果的两件事情:由于事故发生产生了某种事故后果。关于事故后果有如下理论。

海因里希法则(图 1.1):

严重伤害:轻微伤害:无伤害=1:29:300



图 1.1 海因里希法则示意图

博德比例:

严重伤害:轻微伤害:财产损失:无伤害财产损失=1:10:30:600

(4)事故的划分。根据《生产安全事故报告和调查处理条例》,事故划分为特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故 4 个等级:①特别重大事故是指造成 30 人以上死亡,或者 100 人以上重伤,或者 1 亿元以上直接经济损失的事故;②重大事故是指造成 10 人以上 30 人以下死亡,或者 50 人以上 100 人以下重伤,或者 5000 万元以上 1 亿元以下直接经济损失的事故;③较大事故是指造成 3 人以上 10 人以下死亡,或者 10 人以上 50 人以下重伤,或者 1000 万元以上 5000 万元以下直接经济损失的事故;④一般事故是指造成 3 人以下死亡,或者 10 人以下重伤,或者 1000 万元以下直接经济损失的事故。

5. 隐患

隐患是指在生产活动过程中,由于人们受到科学知识和技术力量的限制,或者由于认识上的局限,而未能有效控制的有可能引起事故的一种行为(一些行为)或一种状态(一些状态)或二者的结合。

隐患是事故发生的必要条件,隐患一旦被识别,就要予以消除。对于受客观条件所限不能立即消除的隐患,要采取措施降低其危险性或延缓危险性增长的速度,减少其被触发的几率。

6. 危险源

危险源是可能导致人员伤害或财物损失事故的潜在的不安全因素。根据危险源在事故发生、发展中的作用,可将其分为两大类:第一类危险源是指系统中存在的、可能发生意外释放的能量或危险物质,实际工作中往往把产生能量的能量源或拥有能量的能量载体作为第一类危险源处理;第二类危险源是指导致约束、限制能量措施失效或破坏的各种不安全因素,包括人、物、环境。

7. 安全性、危险性、可靠性

安全性:从系统的安全性能讲,安全性为衡量系统安全程度的客观量。

危险性:也叫风险,是与安全性对立的概念,是描述系统危险程度的指标。

可靠性:系统或元件在规定条件下、规定时间内完成规定功能的能力。

安全性与危险性的关系:假定系统的安全性为 S , 危险性为 R , 则 $S=1-R$ 。

安全性与可靠性的关系:既区别又联系。

1.1.2 概念间的相互关系

1. 安全与危险

安全与危险是一对此消彼长、动态发展变化的矛盾双方。一方面双方互相反对、互相排斥、互相否定;另一方面两者互相依存,共同处于一个统一体中,存在着向对方转化的趋势。安全与危险这对矛盾的运动、变化和发展推动着安全科学的发展和人类安全意识的提高。

2. 安全与事故

事故与安全是对立的,但事故并不是不安全的全部内容,而只是在安全与不安全一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变结果的外在表现。

系统处于安全状态并不一定不发生事故,系统处于不安全状态,也未必完全是由事故引起。

3. 危险与事故

危险不仅包含了作为潜在事故条件的各种隐患,同时还包含了安全与不安全的矛盾激化后表现出来的事故结果。

事故发生,系统不一定处于危险状态,事故不发生,也不能否认系统不处于危险状态,事故不能作为判别系统危险与安全状态的唯一标准。

4. 事故与隐患

事故总是发生在操作的现场,总是伴随隐患的发展而发生在生产过程之中。事故是隐患发展的结果,而隐患则是事故发生的必要条件。

5. 危险源与事故

一起事故的发生是两类危险源共同作用的结果。第一类危险源的存在是事故发生的前提,没有第一类危险源就谈不上能量或危险物质的意外释放,也就无所谓事故。如果没有第二类危险源破坏对第一类危险源的控制,也不会发生能量或危险物质的意外释放。第二类危险源的出现是第一类危险源导致事故的必要条件。在事故的发生、发展过程中,两类危险源相互依存、相辅相成。

第一类危险源在事故时释放出的能量是导致人员伤亡或财物损坏的能量主体,决定事故后果的严重程度;第二类危险源出现的难易程度决定事故发生的可能性的。两类危险源共同决定危险源的。危险性。

1.1.3 安全的基本特性

1. 安全的系统性

安全问题涉及技术系统的各个方面,包括人员、设备、环境等因素,而这些因素又涉及经济、政治、科技、教育、管理等许多方面。

对于交通运输这样的开放系统,安全既受系统内部因素的制约,也受到系统外部环境的干扰。事故不仅可能造成系统内部的损害,而且可能造成系统外部环境的损害。研究和解决安全问题应从系统观点出发,运用系统工程的方法进行综合治理。

2. 安全的相对性

凡是人类从事的生产活动,都有安全问题,所不同的只是发生事故的可能性有大有小,危害程度有轻有重而已。

安全的相对性表现在三个方面:

(1)绝对安全的状态是不存在的,系统的安全是相对于危险而言的。

(2)安全标准是相对于人的认识和社会经济的承受能力而言,抛开社会环境讨论安全

是不现实的。

(3)人的认识是无限发展的,对安全机理和运行机制的认识也在不断深化,即人对安全的认识具有相对性。

由安全的相对性可知:

(1)各种生产和生活活动过程中,事故或危害事件是可以避免的,但难以完全避免。

(2)各种事故或危害事件的不良作用、后果及影响可能避免,但难以完全避免。

(3)事故是可以预防的,可以利用安全系统工程的原理和技术,预先发现、鉴别、判明各种隐患,并采取安全对策,从而防患于未然。

3. 安全的依附性

安全是依附于生产而存在的,它不可能脱离具体的生产过程而独立存在,只要存在生产活动,就会出现安全问题。

安全是生产的前提和保障,安全工作搞得不好,生产便无法顺利进行。因此,需要经常、持久地抓好安全工作。

4. 安全的间接效益性

要保证生产安全,必须在人员、设备、环境和管理方面有相应、适时的安全投入。安全投入所产生的经济和社会效益却是间接的、无形的,难以定量计算。安全投入往往被忽视,只有发生事故造成了损失之后,才会意识到安全投入的必要性和重要性。

安全的效益除了减少事故的直接和间接经济损失外,更重要的是在提高人员素质、改进设备性能、改善环境质量、加强生产管理等方面所创造的积极的经济和社会效益。

5. 安全的长期性和艰巨性

人对安全的认识在时间上往往是滞后的,很难预先完全认识到系统存在和面临的各种危险。而且即使认识到了,有时也会由于受到当时技术条件的限制而无法予以控制。

随着技术进步和社会发展,旧的安全问题解决了,新的安全问题又会产生。高技术总是伴随着高风险,随着现代科学技术的发展,各种技术系统的复杂化程度增加了,危险性也随之增加。

事故是一种小概率的随机事件,仅仅利用已有的事故资料不足以及时、深入地对系统的危险性进行分析。以现代交通运输系统为例,无论从规模、速度、设备和管理上都发生了极大的飞跃,一旦发生事故,其影响之大、伤亡之多、损失之重、补救之难,都是传统运输方式不可比拟的。认识事故机理,不断揭示系统安全的各种隐患,确实是艰巨的任务。安全工作是一个长期的过程,必须坚持不懈、始终如一地努力才行。

1.2 可靠性理论

可靠性理论及应用是以产品的寿命特征作为主要研究对象的一门新兴的边缘性学科,它涉及基础科学、技术科学和管理科学的许多领域,其推广和应用已给企业和社会带来

了巨大的经济效益。

在我国四个现代化建设中,各行各业对产品可靠性问题的日益重视,极大地推动了可靠性这一新兴学科的迅猛发展,并使其进入了一个崭新的历程。可靠性理论与技术已遍及电子、机械、化工、自动化、航空、航天等领域。然而由于历史原因,在我国,可靠性理论与应用和发达国家相比还很落后,其主要原因在于对可靠性理论和工程应用的研究比较薄弱,致使许多从事可靠性工作的工程技术人员与管理人员对系统的可靠性理论及可靠性应用技术掌握甚少。广大青年学生由于缺乏系统的可靠性专门知识,走上工作岗位后不能完全适应从事可靠性工作的需要。

对于产品来说,可靠性问题和人身安全、经济效益密切相关。因此,研究产品的可靠性问题显得十分重要。例如,导弹武器系统是由导弹和地面设备的若干个分系统组成,每个分系统又由数台整机组成,每台整机又由几百或几千个元器件组成。如果一个元件失效,一根导线断掉,一个接头接点接触不良,都可能造成事故,引起严重后果。又如,飞机某一系统或某一元器件如果发生故障,就有可能造成机毁人亡的恶性灾难。1971年,苏联3名宇航员在“礼炮号”飞船中由于1个部件失灵而丧生。由此可见提高产品可靠性的重要意义。提高产品的可靠性有以下几方面的重要意义。

(1)可以防止故障和事故的发生,尤其是避免灾难性的事故发生,从而保证人民生命财产安全。1986年1月28日,美国航天飞机“挑战者号”由于1个密封圈失效,起飞76 s后爆炸,其中7名宇航员丧生,造成12亿美元的经济损失;1992年,我国发射“澳星”时,由于一个小小零件的故障,使“澳星”发射失败,造成了巨大的经济损失和政治影响。

(2)能使产品总的费用降低。要提高产品的可靠性,首先要增加费用,以选用较好的零部件,研制包括部分冗余功能部件的容错结构以及进行可靠性设计、分析、实验,这些都需要经费。然而,产品可靠性的提高使得维修费及停机检查损失费大大减小,使总费用降低。例如美国共和公司在发展F-105战斗轰炸机的过程中,花了2500万美元,使该机的任务可靠度从0.7263提高到0.8986,这样每年可节省维修费5400万美元。

(3)可以减少停机时间,提高产品可用率,一台设备可以顶几台设备的工作效率。这样,在投资、成本相近的情况下,可以发挥几倍的效益。美国GE公司经过分析认为,对于发电、冶金、矿山、运输等连续作业的设备,即使可靠性提高1%,成本提高10%也是合算的。

(4)对于企业来讲,可以改善企业信誉,增强竞争力,扩大产品销路,从而提高经济效益。

(5)可以减少产品责任赔偿案件的发生,以及其他处理产品事故费用的支出,避免不必要的经济损失。

为了提高产品的可靠性,必须在生产的各个环节上努力,但最重要的是设计阶段。如果设计不合理,想通过事后的修理来达到期望的可靠性,这几乎是不可能的。因此,从事仪器研制和系统设计的科研人员,应该熟悉和掌握保证可靠性的各种方法与手段。

1.2.1 可靠性基本概念

概率论和数理统计是研究可靠性问题的主要工具。概率论能确定可靠性数量特性之