第一章 绪 论

高速铁路客运专线的建设和投入运营，有利于从根本上缓解铁路运输紧张的状况，提高铁路运输能力和服务质量，为基本实现现代化提供可靠运力保证；有利于完善综合运输体系，提供质量更高、更丰富的客运服务，满足旅客不同层次的需求；有利于促进资源节约和环境保护，可以发挥节约土地、能源以及提高安全性等比较优势，降低全社会的运输成本，促进沿线经济社会协调发展；有利于加快铁路现代化进程，带动中国经济建设的迅速发展，提高自主创新能力，并进一步加快中国铁路客运高速化的进程。

《十二五”综合交通运输体系发展规划》提出，到 2015 年中国快速铁路营业里程达 4.5 万 km，五年增长率达 438.4%。由此可见未来五年铁路建设仍将是中国交通运输体系建设的重头戏。根据《规划》,“十二五”中国铁路建设要完成贯通北京至哈尔滨（大连）、北京至上海、上海至深圳、北京至深圳、青岛至太原、徐州至兰州、上海至成都、上海至昆明等“四纵四横”客运专线。同时，建设北京至呼和浩特、张家口经西安至成都、成都经贵阳至广州、合肥至福州、南京至杭州、合肥至蚌埠、吉林至珲春、沈阳至丹东、哈尔滨至佳木斯、南宁至北京等客运专线辅助线、延伸线和联络线，扩大快速客运覆盖范围，快速铁路营业里程达 4.5 万 km，连接全国省会城市、基本覆盖 50 万以上人口城市。随着高铁建设的全面启动，高铁土建工程及高铁设备需求将大规模增长，高铁行业整个产业链将会受益。

第一节　高速铁路运营安全概述

1964 年日本高速铁路的诞生，标志着世界高速铁路时代的来临。保证旅客和货物的安全是运输工作最基本的要求，高速铁路亦不例外。当前，随着社会经济的发展，人们生活的改善，追求安全、快速、舒适的运输已成为时代对于运输业的要求。特别是公路、航空业的日益崛起，成为铁路强有力的竞争对手。为了保证在竞争中处于有利地位，高速铁路已成为世界铁路发展的趋势。

高速铁路运营安全具有以下几个方面的特点：

（1）高速安全运营的系统性。高速铁路运营是一个紧密联系的大系统，涉及运输生产的各个环节以及铁路技术系统的各个方面，包括人员、设备、环境、管理等诸多因素。

（2）高速安全运营的动态性。高速铁路运输行业生产过程处于时间、地点的动态发展过程中，安全运营要素众多且富于变化，安全运营在一定程度上处于不确定状态。

（3）高速安全运营的复杂性。高速铁路系统是一个复杂大系统，其生产活动既受内部管理因素、人员素养、运输设备的影响，也受外界自然环境和社会环境的影响。

（4）高速安全运营的艰巨程度。高速铁路客流量大、速度快、科技含量高，安全运营意义重大。高速铁路自身是现代的科学和技术发展的具体体现，高速铁路运输的过程中普遍采用了高新型技术，高速化使得铁路的各种技术系统复杂程度逐渐增加，所以，高速铁路的安全运营艰巨性极大。

第二节　高速铁路运营安全管理研究的对象

高速铁路运营安全管理主要针对已经投入运营的高速铁路系统运营过程中所涉及的人、物、环境的行为与状态。高速铁路运营安全管理，主要是组织实施高速铁路安全管理规划、指导、检查和决策，同时，又是保证高速铁路系统处于健康良好状况的根本方法。其主要的研究对象包括：

（1）高速铁路运营机构及人员。

（2）高速铁路乘客。

（3）高速铁路通信及信号系统。

（4）高速铁路线路及电务系统。

（5）高速铁路车辆系统。

（6）高速铁路环境与设备监控系统。

（7）高速铁路灾害预警系统。

第三节　高速铁路运营安全管理主要内容

本书主要内容共分为五个部分，首先介绍高速铁路运营安全基础理论、安全生产管理原理、安全评价方法和安全管理方法。其次系统地介绍高速铁路危险源识别与控制、高速铁路主要危险源因素及分级、LEC 评价法和高速铁路运营安全控制。再次介绍高速铁路运营安全保障体系，其又分为高速铁路运营安全保障理论体系、高速铁路运营安全保障技术体系、高速铁路运营安全保障管理体系。然后，全面总结了高速铁路运营安全保障技术，包括列车运行控制系统、环境监测与灾害预测预警系统、设施设备监测与在线诊断系统、事故救援和减

灾系统、环境与设备监控系统及综合监控系统等。最后，本书列举三个高速铁路事故典型案例，分别从事故基本情况、事故发生经过、事故处置过程、事故原因分析和事故经验教训几个方面总结事故，以便更好地对高速铁路运营安全进行管理。

第二章　高速铁路运营安全基础理论与方法

第一节　安全基础理论

一、可靠性理论

可靠性理论作为一门独立的工程基础学科于 20 世纪 30 年代初率先在美国形成。最初，它运用统计方法于工业产品的质量控制中。第二次世界大战期间，许多复杂系统，如航空电子设备、通信系统以及武器系统，都暴露出低下的可靠性水平，特别是 20 世纪五六十年代着手实施各类太空研究计划，成为了推动可靠性工程兴起和发展的主要动力。1965 年，国际电工委员会（EIC）可靠性专业委员会的成立，标志着可靠性技术成为了一门较为新兴的学科——可靠性工程。

（一）可靠性工程的基本内容

可靠性工程涉及面广，需要从科研、设计、试验、制造、运输、贮存、直到使用和维护等方面，进行研究和实施的工作。详见表 2.1。

表 2.1　可靠性工程的基本内容

1. 可靠性基本理论	可靠性数学与故障物理学； 集合论与逻辑代数； 概率论与数理统计； 图论与随机过程；	7. 原件可靠性	制定原件可靠性； 元件失效分析与可靠性评价； 元器件及原材料的合理选择； 元器件的老化筛选；

	系统工程与人素工程学； 环境工程学与环境应力分析； 试验及分析基础理论		元器件现场使用情况调查和反馈
2. 可靠性 设计	贮备设计和裕度设计； 降额设计和构件概率设计； 热设计、抗机械力设计； 防潮、腐蚀、盐雾、尘设计； 电磁兼容设计和抗辐射设计； 电磁兼容设计和抗辐射设计； 维修性设计和使用性设计； 质量、体积、重量和经济指标综合设计	8. 系统可 靠性	可靠性预计与分配； 失效模式效应与危害度分析； 事件树分析法（ETA）； 故障树分析法（FTA）； 可靠性综合评估

续表 2.1

3. 可靠性 试验	环境试验； 寿命试验； 筛选试验	9. 可靠教 育性	举办各种可靠性学习班与讲座； 内外培训和内外考察； 专业技术会议； 出版可靠性刊物、可靠性教材
4. 制造	质量控制手段和方法	10. 可靠性 管理	建立可靠性管理机构和研究机构； 制定可靠性管理纲要； 制定产品可靠性管理规范； 建立质量反馈制度； 开展产品可靠性评审
5. 使用的 可靠性 保证	使用和维护规程制定； 操作和维修人员培训； 安全性设计； 人-机匹配设计和环境设计		
6. 可靠性 信息	现场数据收集、分析、整理和反馈； 试验数据处理和反馈； 元器件失效率汇集和交换； 各种可靠性信息搜集和交流； 用户调查和反馈	11. 可靠性 标准	基础标准； 试验方法标准； 认证标准； 管理标准； 设计标准； 产品标准

（二）可靠性的基本概念

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间的相互关系。因此，可靠性理论的许多概念是与概率论中的概念密切相关的。而可靠性的测定则主要用的是数理统计方法。

一般所说的“可靠性”指的是“可信赖的”或“可信任的”。我们说一个人是可靠的，就是说这个人言出必行，说到做到。

同样，一台仪器设备，当人们要求它工作时，它就能工作，则说它是可靠的；而当人们要求它工作时，它有时工作，有时不工作（或不一定能按计划进行工作），则称它是不可靠的。因此，在非技术范围内，可靠性指的是确实能完成某项工作，不可靠性是指不一定能完成某项工作。但就其实质来说，可用一句话来定义可靠性：即一台仪器设备，在给定时间内，在预期应用中能正常工作的能力。

根据国家标准规定，产品可靠性的定义是指产品在规定的时期内，在规定条件下，在规定的时间内完成规定功能的能力。

这里的产品，是指作为单独研究和分别试验对象的任何元器件、设备和系统。从定义不难看出，产品的可靠性的高低，必须是在规定的时间内，在规定的条件下，按完成规定功能的大小来衡量。如果离开了这三个“规定”，就失去了衡量可靠性高低的前提。

规定的条件是指产品所处的使用环境与维护条件，包括机械条件、气候条件、生物条件、物理条件和使用维护条件等。这是对可靠性附加的第一种约束条件。由于这些条件对产品失效都有影响，条件变化了，产品可靠性也随着变化，因此，只能在指定的条件下谈产品可靠性。

规定的时期是指产品储存期，规定的时间是指产品执行任务的时间，这是对可靠性附加的第二种约束条件，也是最重要的约束条件。由于产品交付使用后，会受到各种环境应力的影响，可靠性随着时间的延长而逐步下降。不同的时期和不同的时间，对产品失效的影响也不相同。产品在规定的储存期内，一般都应是可靠的，但超出储存期使用，问题就较多。如

导弹（产品）在规定的发射准备时间内完成检测，并使系统处于良好的可发射状态，称导弹（产品）有效。否则，在规定的时间内不能完成发射准备，称导弹（产品）无效。因此，只能在规定的时期和规定的时间之内谈可靠性。

规定的功能是指产品设计文件上对产品规定的技术性能，这是对可靠性附加的第三种约束条件。各个产品在系统中承担着不同的任务，有着不同的功能。产品完成了规定的功能要求，就算是可靠的；否则，就说是不可靠的。完成功能的能力，通常表示可靠性的定性要求。完成功能的概率，通常表示可靠性的定量要求，是可靠性大小的度量。

以上对可靠性的定义只是定性的，为了使可靠性的定义有一个确定的定量量度，下面我们给出便于应用数理统计方法，并能广泛使用的可靠性的定量定义。

可靠性就是一个系统在时间 t 内不失效的概率

在规定的条件及规定的时间内不发生故障的概率。设 t 为需要确定的无故障工作概率的时间，T 为系统从开始工作到首次发生故障的概率，那么，我们有下式：

$$P(t) = P(T > t) \tag{2.1}$$

即无故障工作的概率是指系统从开始工作到首次发生故障的时间 T 大于待确定无故障工作概率的时间 t 这一事件发生的概率。

由无故障工作概率的定义，显然，$P(t)$ 具有下面三条性质：

（1）$P(t)$ 为时间的递减函数；

（2）$0 < P(t) < 1$；

（3）$P(0) = 1, P(\infty) = 0$

定量研究可靠性，首先，要认识到可靠性所具有的时间特性。产品的可靠性是一个与时间有密切关系的属性，使用时间越长，就越不可靠。所以，在评价一种产品的可靠性时，必须指明是多长时间内的可靠性，离开了时间谈可靠性是毫无意义的。其次，要认识到可靠性所具有的统计特性，建立概率统计的观点。最后，要认识到可靠性具有综合性的特点。

产品的可靠性不是从某一个侧面来衡量产品的优劣的，而是从整体上看产品能否完成预期的功能。因此综合性表现了产品的耐久性、无故障性、维修性、可用性和经济性等。

总而言之，可靠性有其可定量的概率统计特性，在设计中可以预计，在试验中可以测定，在生产中可以保证，在使用中可以保持，在整个寿命周期内可以控制。在研究产品可靠性问题时，必须注意可靠性的三大要素，即条件、时间和功能，建立一个基本的观点，即概率统计的观点，并充分认识可靠性具有的时间性、统计性和综合性的特点。

（三）人的可靠性管理

人的可靠性是在 20 世纪 50 年代发展起来的一门综合性的边缘学科，也是可靠性学科的重要分支。在现代企业生产和生活的大系统中，物的不安全因素具有一定的稳定性，而人则由于其自身及社会的影响，具有相当大的偶然性和随意性。有资料表明，70%～90%的事故灾害直接或间接与人失误、管理失控有关。

人的可靠性定义为：人在系统工作中的任何阶段，在规定的最小时间限度内（假定时间要求是给定的）成功地完成一项工作或任务的概率。近年来，人的可靠性越来越多地受到了人们的重视，主要有两方面的原因：一是人-机-环境系统已向高度精密和高度复杂化发展，而导致系统失效，将可能产生深远影响和不可预测的后果，如美国三哩岛核电站事故；二是各

种研究表明，系统失效很大一部分是由于人为差错造成的。由于事故的主要根源在于人为差错，而人为差错的产生则是由人的不可靠性引起的。因此人的可靠性管理在系统工程可靠性中起着重要的作用。

以往对人员可靠性的管理基本上是立足于技术方面的，但是仅从技术手段是不可能从根本上解决问题的。因此，中南工学院的张力和邓志良将可靠性技术手段与组织管理手段相结合，构成人员可靠性综合管理系统（图 2.1）。

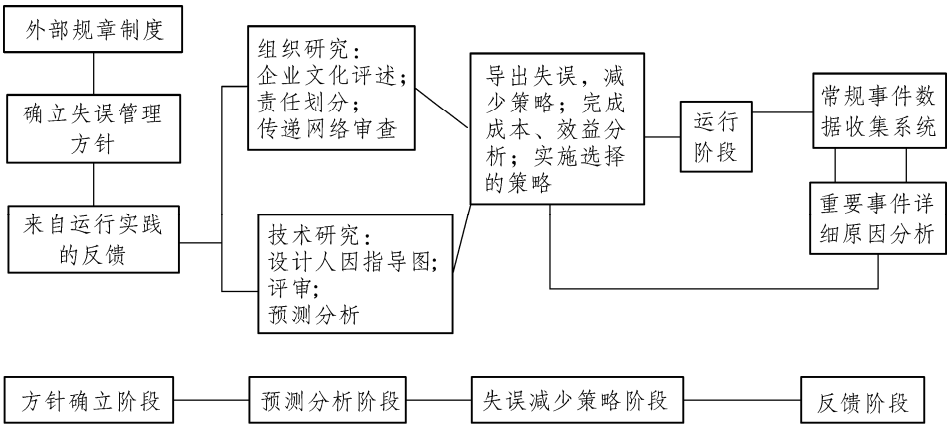

图 2.1 人员可靠性综合管理系统

人员可靠性综合管理系统将组织行为学、管理心理学与可靠性技术手段相结合，力图对人误问题提供广泛和完善的管理模式。这个系统的精髓是人的社会属性和精神属性，强调组织管理对减少失误、提高系统可靠性的贡献。它的有效使用需要全企业从上到下的通力合作，包括体制方面的支持。

二、事故致因理论

（一）事故致因理论的发展过程

20 世纪初，世界工业生产已经初具规模，蒸汽动力和电动机械取代了作坊中的手工器具。由于当时的机器都没有安全防护装置，对工人不进行培训，日工作时间长达 13 h，伤亡事故频繁发生。1909 年美国工业死亡事故高达 3 万起，百万工时死亡率有的工厂竟多达 150～200 人。美国宾夕法尼亚钢铁公司，1901—1904 年 2 200 名职工中竟有 1 600 人在事故中受到伤害。面对工人生命受到严重威胁，企业主态度消极，第一个单因素理论“事故频发倾向论”应运而生，即认为工人性格特征是事故频繁发生的唯一因素，这集中地反映了企业主的错误观念。

1919 年格林伍德（Greenwood）和 1926 年纽博尔德（M. Newbold）认为，事故在人群中并非随机地分布，某些人比其他人更易发生事故。因此，就用某种方法将有事故倾向的工人与其他人区别开来，并依此作为解雇工人的依据。这种理论的缺点是过分夸大了人的性格特点在事故中的作用。

1936 年，海因里希（Heinrieh）提出了应用多米诺骨牌原理研究工人受伤害导致事故的 5 个顺序过程，即“伤亡事故顺序五因素”。

1939 年，法默（FaITller）和钱伯（Chamber）提出，一个有事故倾向的人具有较高的事故率，而与工作任务、生活环境和经历等无关，意为一切事故责任均归咎于个人性格。

1951 年，阿布斯和克利克的研究指出，个别人的事故率具有明显的不稳定性，对具有事故倾向的个性类型的量度界限难于测定。广泛的批评使这一单因素（具有事故倾向的素质论）理论被排除在事故致因理论中的地位。

1971 年，邵合赛克尔主张这一观点仅供工种考选参考，他着意于多发事故，丝毫无意涉及人的个性参数。第二个单因素理论被称为心理动力理论，它来源于佛儒德（Fulyd）的个性

动力理论，认为工人受刺激是导致工人受伤害事故的原因。这种理论也是荒谬的，它也无法证实某个特定的动机会引起某个特定的事故。这里之所以提一下这个观点，是因为它与事故倾向论者相反，不认为个别人的品德缺陷是固有的和稳定的，认为无意识的动机是可以改变的。此理论可推论为，一个人可能属于具有事故倾向组，通过教育或培训可降低其事故率，而不必将他们从工作中排出。

20 世纪 60 年代初期，由于火箭技术发展的需要，西方各国着手开发安全系统工程。美国在 1962 年 4 月公开发表了“空军弹道导弹系统安全工程”的说明书，同年 9 月拟定了“武器系统安全标准”。

1961 年由吉布森（Gibson）提出的，并在 1966 年由哈顿（Haddon）引申的“能量转移理论”，阐述了伤亡事故与能量及其转移于人体的模型。

1965 年，科罗敦（Kolodner）在安全性定量化的论文中介绍了故障树分析（FTA）。这一系统安全分析方法，实质上也是基本源于事件链理论。

1970 年，帝内逊（Driessen）明确地将事件链理论发展为分支事件过程逻辑理论。FTA 等树枝图形，实际上是分支事件过程的解析。

1972 年，威格尔斯沃思（Wigglesworth）提出了以人的失误为主因的事故模型。

1972 年，贝纳（Benner）提出了解释事故致因的综合概念和术语，同时把分支事件链和事故过程链结合起来，并用逻辑图加以显示，进而提出“多重线性事件过程图解法”。

1974 年，劳伦斯（Lawrence）根据贝纳和威格尔斯沃思的事故理论，提出了“扰动”促成事故的理论，即 P 理论（Perturbation Occurs），此后又提出了能适用于复杂的自然条件、连续作

业情况下的矿山以人失误为主因的事故模型，并在南非金矿进行了试点。

1975 年，约翰逊（Johnson）研究了管理失误和危险树（MORT），这是一种系统安全逻辑树图的新方法，也是一种全面理解事故现象的图表模型。

1980 年，泰勒斯（Talanch）在《安全测定》一书中介绍了变化论模型；1981 年佐藤吉信依 MORT 又引申出从变化的观点说明“事故是一个连续过程”的理论。

1983 年，瑞典工作环境基金会（WEF）对 1969 年瑟利（Surry）提出的人行为系统模型提出了一个修改的版本，即 WEF 模型。

1991 年，安德森（Andersson）提出了瑟利修改系列模型，认为事故的发生并非一个“事件”，而且是一个过程，可作为一个系列进行分析。

1992 年，瓦格纳（Wagenaar）提出防止人失误的促导安全行为的 6 种方法；依此，1998 年 Jop. Groeneweg 提出了对人失误加强管理的事故因果模型。

1998 年，R. Lehto 和 M. Miller 提出事故序列四阶段的安全信息及其制作。

1998 年，Abdul. Raouf 将事故致因理论归纳为几个事故原因学说，以下介绍几个有影响的事故因果关系理论。

（1）多米诺学说根据海因里希（W. H. Heinrieh）1931 年发明的一个多米诺骨牌原理，认为“88%的事故是由于人们的不安全操作所引起，10%的事故是由于不安全行为引起，2%是天灾造成的”。它提出一个“五因素事故序列”，已于前述。

（2）多因素学说认为，一起事故的发生可能有多个影响因素，即主要原因和附属原因，以及某些原因集合在一起而引起事故。根据这一学说，众多影响因素可归纳为两类：一是行

为的影响因素，如安全知识缺欠、技术不佳、劳动姿势不合适，以及工人身心状态不适宜；二是环境因素，这类影响因素指生产劳动的环境不良、有害因素多、设备工具安全质量下降、缺乏安全装备。这一学说的贡献是批判了事故是由单一因素引起的，批判了“工人事故倾向论”等有偏见的倾向学说。

（3）能量转移学说认为，事故的发生都有一个危害的发生源，并与能量转换有密切关系，如高处坠落是势能转换为动能、电烧伤为电能转换为热能且转移于人体等。

（4）征象与原因学说认为，不安全条件和人的不安全操作都是征象，是近似的显而易见的表面的直接原因，而不是造成事故的根本原因。间接原因往往是基本的本质原因，如社会环境、管理失误等。事故调查不应停留在表面征兆和现象，应追究造成直接原因的本质原因。

近十几年来，许多学者都认为，事故的直接原因不外乎是人的不安全行为或人为失误和物的不安全状态或故障两大因素作用的结果。人与物两系列轨迹交叉理论被用来说明造成事故的直接原因。间接原因，即社会原因、管理原因等是导致事故发生的本质原因。

研究事故致因理论可以有助于查明事故原因、作出安全评价和预防事故决策、增长安全理论知识、积累安全信息、防止产业灾害的发生。

（二）事故频发倾向论

事故频发倾向论是阐述企业工人中存在着个别人容易发生事故的、稳定的、个人的内在倾向的一种理论。1919 年，格林伍德和伍慈对许多工厂里伤害事故发生次数的资料按如下三种统计分布进行统计检验。

1．泊松分布

当员工发生事故的概率不存在个体差异时，即不存在事故频发倾向者时，一定时间内事故发生次数服从泊松分布。在这种情况下，事故的发生是由于工厂里的生产条件、机械设备方面的问题及一些其他偶然因素引起的。

2．偏倚分布

一些工人由于存在着精神或心理方面的问题，如果在生产操作过程中发生过一次事故，就会造成胆怯或神经过敏，当再继续操作时，就有重复发生第二次、第三次事故的倾向。造成这种统计分布的是人员中存在少数有精神或心理缺陷的人。

3．非均等分布

当工厂中存在许多特别容易发生事故的人时，发生不同次数事故的人数服从非均等分布，即每个人发生事故的概率不相同。在这种情况下，事故的发生主要是由于人的因素引起的。为了检验事故频发倾向的稳定性，他们还计算了被调查工厂中同一个人在前三个月和后三个月里发生事故次数的相关系数，结果发现，工厂中存在着事故频发倾向者，并且前、后三个月事故次数的相关系数变化在 0.37±0.12 到 0.72±0.07 之间，皆为正相关。

1926 年，纽鲍尔德研究了大量工厂中事故发生次数分布，证明事故发生次数服从发生概率极小、且每个人发生事故概率不等的统计分布。他计算了一些工厂中前五个月和后五个月事故次数的相关系数，其结果为 0.04±0.009～0.71±0.06，这也充分证明了存在着事故频发倾向者。1939 年，法默和查姆勃明确提出了事故频发倾向的概念，认为事故频发倾向者的存在是工业事故发生的主要原因。

对于发生事故次数较多、可能是事故频发倾向者的人，可以通过一系列的心理学测试来判别。例如，日本曾采用内田-克雷贝林测验测试人员大脑工作状态曲线，采用 YG 测验测试