

现代铁路的安全技术和设备

铁道部科学技术信息研究所

1994 年 4 月

研究报告内容与分工

第一章 前 言

第二章 日本铁路运行安全系统的研究

第三章 德国高速铁路运输安全预防系统的研究与发展

第四章 美国联邦铁路总署 (FRA) 铁路安全研究与发展

第五章 X2000 列车在美国运用的安全评估

第六章 落石自动报警系统的应用与发展

第七章 电气化铁路接触网的安全检测技术

第八章 铁路的钢轨探伤车及轨道检测车

第九章 提高铁路机车车辆滚动轴承的安全可靠性

本专题第一、三、四、五章由余也艺完成，第二章由余也艺、马大炜、邹振民共同完成，第六章由刘庚权、毛俊杰负责编写，第七章由陈佳玲、罗庆中完成，第八章由李丹明、肖 兵编写，第九章由徐玉香完成。

全文在资料收集与编写过程中得到铁道部安监司、郑州铁路局的大力支持，郑州局刘永文高工提供了 90 年国际铁路安全会议文件与资料，铁科院机辆所王享祥研究员、商福昆研究员、信息所陈联彬、杨建民、侯韵卿、杨顺焕等同志为本专题翻译了有关资料，通号所张锡第研究员审查了有关章节，在此一并表示诚挚的谢意。

目 录

第一章 前 言	(1)
第二章 日本铁路运行安全系统的研究	(5)
一、为实现高效安全的铁路系统而努力	(5)
(一) 吸取历史的教训	(5)
(二) 日本铁路的安全水准与故障安全	(6)
(三) 今后的研究课题	(7)
二、道口与线路的安全防护	(9)
(一) 道口安全问题	(9)
1. 道口事故	(9)
2. 平交道口的障碍物检测与事故防止	(9)
3. 冬季防止道口事故	(10)
4. 道口遮断和报警	(10)
5. 道口综合事故救援训练	(10)
(二) 线路安全防护	(11)
1. 新干线轨道的安全管理	(11)
2. 线路的安全养护设备	(12)
3. 线路施工作业时的安全措施	(13)
三、灾害报警与其预报	(13)
(一) 地 震	(14)
1. 地震灾害的早期预测及报警	(14)
2. UrEDAS 系统的配置与应用	(14)
3. UrEDAS 的防灾效果	(15)
(二) 暴 雨	(15)
1. 泥石流预测和监视系统	(15)
2. 降雨危害路基的实验研究	(15)
(三) 风 害	(16)
1. 东海道新干线的风向风速监视装置	(16)
2. 列车脱轨事故时强风特性的研究	(16)
(四) 防 火	(17)
1. 列车火灾	(17)
2. 站段建筑物的防火设施	(17)
(五) 其 它	(17)
四、日本铁路安全运行管理系统	(18)

(一) 管理系统的发展过程	(18)
(二) 日本铁路运营管理系统的基本体系	(18)
1. COMTRAC 系统	(18)
2. CTC 系统	(20)
(三) 列车运行管理系统随着技术进步而发展	(20)
1. 计算机技术进步提高了运营管理系统水平	(20)
2. 信号设备的发展促进运行管理系统	(21)
3. 系统结构的变化	(21)
五、列车自动控制系统 (ATC)	(22)
(一) 日本列车自动控制系统的一般介绍	(22)
(二) 日本新干线 ATC 设备的特点	(23)
1. 采用电源同步单边带 SSB 调制方式	(23)
2. 采用同步解调方式	(24)
3. 双频 ATC	(24)
4. 有效的停车防护系统	(24)
(三) 日本新干线 ATC 发展新动向	(24)
1. 数字式 ATC 系统	(24)
2. 设备分散型 ATC	(25)
3. 开发智能化 ATC 设备	(26)
六、日本铁路列车自动停车装置 (ATS) 及其发展	(27)
(一) 概 述	(27)
(二) ATS—S 改进型设备运用及简介	(27)
1. ATS—SN 型	(27)
2. ATS—ST 型	(27)
3. ATS—SW 型	(28)
(三) ATS—P 型装置	(28)
1. ATS—P 型装置的组成及基本功能	(28)
2. ATS—P 型装置的应用情况及评估	(28)
(四) ATS—SP 型自动停车装置	(29)
1. ATS—SP 型装置的设计特点	(29)
2. ATS—SP 型装置的功能	(30)
3. ATS—SP 型装置的现状和展望	(30)
七、发挥人在安全预防中的作用	(30)
(一) 人为错误的防止与诊断—安全态度诊断仪	(30)
(二) 诊断数据举例与分析	(31)
(三) 社会因素对事故的影响	(32)
1. 左右安全意识的社会因素	(32)
2. 公司对于安全的方针和态度	(33)
3. 各项安全制度的制定	(33)

4. 工作环境	(34)
八、人为事故调查新方法的开发	(34)
(一) 事故调查表	(34)
(二) 对事故调查表的统计分析和实例分析	(35)
第三章 德国高速铁路运输安全预防系统的研究与发展	(39)
一、引言	(39)
二、高速线路的运营管理系统	(41)
(一) MAS90 型预报传送设备	(41)
1. 中心控制部分 (ZSE)	(41)
2. 预报和记录部分 (MRE)	(42)
3. 集中化预报和监测方法 (MUV) 的运营系统	(42)
(二) 新线上的危急状态预报设备	(45)
1. 热轴定位探测装置 (HOA 90S 型)	(45)
2. 气流测定与报警装置 (LSMA)	(48)
3. 风力预报装置 (WMA)	(51)
4. 紧急呼叫装置	(52)
三、连续式安全行车控制 (LZB)	(53)
四、新的紧急制动控制方案	(61)
(一) 传送信号的数量与性质	(61)
(二) 信号的传送方式	(62)
(三) 紧急制动跨接线路	(63)
(四) 使用经验	(63)
(五) 国际协调现状	(63)
(六) 其它信号传送的需要	(64)
五、新线的维修保养作业报警	(65)
六、高速新线隧道安全性	(69)
(一) 安全方案的总体原则	(70)
(二) 隧道安全防护措施	(71)
1. 阻止事故发生的措施	(71)
2. 减少事故范围的措施	(71)
3. 使自救更容易实施的措施	(71)
4. 容易进行外部救援的措施	(71)
(三) 使用紧急制动跨接的紧急制动方案	(72)
(四) 逃逸线和救援道	(72)
(五) 定向照明设备	(72)
(六) 紧急呼叫电话	(72)
(七) 紧急出口	(72)
(八) 在救援列车停车地点的设备	(73)

(九) 救援直升飞机的着陆可能性	(73)
(十) 隧道洞门前面的接地点	(73)
(十一) 隧道内气流测定装置	(74)
七、标准车辆 (含 ICE) 和超限车辆 (LU 运输) 交会安全限度	(74)
(一) 以运动学计算的标准型车辆	(74)
(二) 由标准型车辆组成的列车交会	(74)
(三) 与超限 (LU) 列车的交会	(74)

第四章 美国联邦铁路总署 (FRA) 铁路安全与发展

一、前 言	(79)
二、机车车辆及装备	(80)
(一) 设备及其零部件	(80)
(二) 操作实践	(80)
(三) 危物运输	(80)

机车车辆及装备方面的研究成果	(80)
----------------------	------

1. 对于新的未经考验的货车的安全保证	(80)
2. 车轮故障机理	(81)
3. 车轮检查系统的开发研制	(81)
4. 制动抱死检测器的可行性	(82)
5. 机车评估模拟器	(82)
6. 市郊车辆的轴承故障分析	(83)
7. 危险物资在装运期间的保护	(83)

三、线 路	(85)
-------------	------

(一) 线路及其组成部件	(85)
(二) 检查与检测	(85)
(三) 轨道—列车相互作用	(85)
(四) 安全试验	(85)

线路方面的研究成果	(85)
-----------------	------

1. 轨道胀曲	(85)
2. 钢轨锁定	(87)
3. 钢轨完整性	(87)
4. 钢轨裂缝检测技术	(88)
5. 混凝土轨枕安全检验规范	(88)
6. 机车车辆和轨道间相互作用	(88)

四、运输试验中心 (TTC) 设备介绍	(89)
---------------------------	------

(一) 加速运输试验设备 (FAST)	(90)
(二) 轨道动力学试验室	(90)
1. 振动试验台 (VTU)	(90)
2. 动力学滚动台 (RDU)	(90)

3. 模拟加载器 (Simuloder)	(91)
(三) 公共交通运输试验线 (TTT)	(91)
(四) 铁路试验线 (RTT)	(91)
(五) 其它试验室及试验线	(91)
(六) 探索用和机车用评估器和模拟装置 (RALES)	(91)

第五章 X2000 列车在美国运用的安全评估

一、X2000 的研究与发展简介	(93)
二、被推荐在美国使用	(94)
三、X2000 各系统介绍与安全考虑	(94)
1. 技术条件	(94)
2. 车辆车体	(95)
3. 动力车和控制拖车	(96)
4. 倾斜系统	(96)
5. 可控制的转向架	(96)
6. 制动系统	(97)
7. 计算机控制	(97)
四、与现有规程相符	(98)
1. FRA 规章	(98)
2. FRA 指南	(100)
3. 美国采用的车辆报废法规	(100)
4. 可能发生的管理问题	(100)
五、结束语	(100)
六、最近发展	(101)

第六章 落石自动报警系统的应用与发展

一、落石自动报警系统的结构和功能	(102)
1. 单独检知线式	(103)
2. 检知网与金属网并用式	(104)
3. 尼龙绳编织网和检知网并用式	(104)
4. 铁丝网框架张拉式	(105)
二、日本落石自动报警系统的研制与开发	(105)
1. 落石自动报警系统的开发	(106)
2. 新型斜面灾害集中监视系统的开发	(109)
3. 综合防灾情报系统	(111)
三、我国落石自动报警系统的研究与发展	(112)
四、对发展我国铁路落石自动报警系统的几点建议	(113)
1. 改进现有防灾体制	(114)
2. 研制几种符合实际应用的检测网和报警装置	(114)

3. 尽量发展检知网和金属网并用式结构	(114)
4. 开发集中监视系统	(114)
5. 发展综合防灾情报系统	(114)

第七章 电气化铁路接触网的安全检测技术

一、我国电气化铁路供电系统故障情况及原因分析	(115)
二、国内外电气化铁路接触网检测技术的发展	(116)
三、接触网诊断检测的内容和方法	(117)
1. 拉出值检测	(117)
2. 接触线磨耗的检测	(118)
3. 硬点检测	(120)
4. 离线检测	(120)
5. 定位管斜度检测	(121)
6. 线岔检测	(121)
7. 接触网呆线夹发热检测	(121)
8. 接触线高度检测	(122)
9. 钢筋混凝土支柱的检测	(122)
10. 绝缘子检测	(122)
11. 数据处理装置	(122)
四、结 束 语	(123)

第八章 铁路的钢轨探伤车及轨道检测车

一、国外铁路的钢轨探伤车	(124)
(一) 英国铁路的超声波探伤车	(124)
(二) 法国国铁的探伤车	(124)
(三) 日本新干线的钢轨探伤车	(125)
(四) 美国铁路的超声波探伤车	(126)
(五) 澳大利亚生产的探伤车	(126)
(六) 其它国家的探伤车	(127)
(七) 建 议	(127)
二、国外轨道检测车的发展和现状	(128)
(一) 美国联邦铁路的轨检车	(129)
(二) 日本新干线的轨道检查车	(130)
(三) 法国的轨道检测车	(130)
(四) 加拿大国铁的轨道检测车	(130)
(五) 普拉塞、陶依尔公司的轨道检查车	(131)
(六) 其它国家的轨检车	(132)
(七) 我国轨检车的发展及现状	(132)

(八) 建 议.....	(133)
--------------	-------

第九章 提高铁路机车车辆滚动轴承的安全可靠性 (135)

一、前 言.....	(135)
二、铁路车辆滚动轴承的使用概况.....	(135)
三、影响滚动轴承使用寿命的因素.....	(137)
(一) 滚动轴承寿命的计算.....	(137)
(二) 影响滚动轴承寿命的因素.....	(138)
(三) 滚动轴承失效的原因.....	(139)
四、提高滚动轴承安全可靠性的途径.....	(140)
(一) 设计方面.....	(140)
(二) 材质方面.....	(141)
(三) 工艺方面.....	(144)
(四) 润滑方面.....	(148)
(五) 诊断方面.....	(151)
(六) 检修工艺方面.....	(154)
五、建 议.....	(155)

第一章 前 言

广义的铁路安全可定义为正点、准确以及可靠地把旅客或货物运送到目的地，同时要确保铁路设施的状态完好和功能稳定。一切与此不符的现象、状态或后果都不能说是安全的。

这样，安全问题涉及工程的、技术的、管理的以及心理和生理的各个方面，既有物化的客观判据，也有能动的和行为的主观规范性标准。当铁路尚处在低级阶段时，铁路功能的发挥远远达不到铁路的极限能力，特别是由于速度不高，铁路系统的运转并未造成大量不安全因素孕育的条件，无论是人还是设备都有足够的能力应付事故或突发的偶然事件，依靠设备的技术条件和维修保养标准与限度，以及人的操作规范与行为指南，就可以保障铁路的安全运转。

然而，当代的铁路现代化以发挥铁路的极限能力为目标，无论是速度还是载重，都要求铁路系统具备前所未有的高性能和高品质。愈接近极限能力，无论是高的运行速度还是载重量，将愈益成为孕育形形色色不安全因素的温床，往往需要依靠多层次的保障措施才能发挥铁路的潜在功能。特别是，现代化铁路运营模式，无论在反应速度上，还是在承受能力上，人的心理和生理均无法适应如此快捷和多变的控制环节，因此必须依靠自动或半自动的装置来实现。这便是构成现代铁路安全新概念的基础，这种新概念表现为：

1. 包括速度控制在内的巡回式检测控制；
2. 列车与列车之间的间距控制。

这是一种具有质的跃变的概念演化。人作为安全控制的主宰，由单一的直接行为控制和规范制约向时变跟踪的精确自动控制跃变，意味着人的能动性向自觉的和有远见的预测行为的高层次升华，不仅改变了人一机相互关系，而且也改变了司机所扮演的角色。

为了适应安全新概念的演化，本专题从安全体系的整体出发，旨在通过国外情况的介绍，熟悉人和自动装置在未来安全中的作用及其可靠性。这对于新安全规程的制定、安全事务人员的培训以及经验知识的更正确应用都是十分重要的，本专辑不仅从技术上介绍安全技术装备的最近发展与研究，并探讨安全概念的演化，而且从人的因素上予以重视，以便为适应新形势下改善铁路基础设施的能力和提提高运输安全水平，完成必要的认识转变和战略战术准备。

尽管现代化的技术进步已使装备日臻完善且更趋安全，但是起支配作用的因素仍然是人与日益增多的先进系统之间保持连系的程度，即人一机相互关系。无疑，只要有人参与的地方，就一定有由于判断失误而发生事故的可能。但是我们可以而且必须持续地努力，把事故发生的概率尽可能降到最小。显而易见，如果经过铁路员工的具体努力也不能确保安全，那么不论采用了多少现代化技术，也不能认为铁路在服务于社会。

现代经济、政治以及社会生活对铁路之间的竞争既多样又苛刻，航空、公路与铁路之间的竞争也十分激烈，铁路要适应这样的环境并得以生存，必须要以安全为起点，应用高水平的技术和信息传输系统，并采用高级的维修系统。只有依靠人与技术的和谐共处，才能确保这一起点的高水平。日本东海道高速铁路系统乃至欧洲的高速铁路 30 年的运营至今未出现人身伤亡事故，证明和谐共处是完全可以实现的。尽管高速铁路运营的基础是高效能的机车车

辆与线路结构以及自动防止故障的信号系统，但它的每一个环节都是由经过充分培训和能胜任安全目标的人来执行的。

显然，发挥人的智谋是铁路运营存在的必要条件，然而人总是会出故障的，且与人的技能与安全意识不完全相关，在高速运行条件下，人的疏忽可能会导致更惨重的后果，以致于必须设法减少人的干预工作范围，并势必要求高度自动化。另一方面，自动化系统也是执行人类智能的产物，借助于特殊设计的设备检测功能，将对乘务员及维修者提供帮助。建立在控制论体系基础上的现代安全科学、先进技术的利用将在人，设备和环境三个方面，关系到安全运营的成败。

没有任何风险的绝对安全是不可能达到的，因此只能把安全基准定在一个合理的低风险水平上，这便是临界风险率。尽管临界风险率不是一个确定的值，但可以赋予它一个切合实际的范围，一方面要适应不断改变的社会价值观，一方面又能从经济效益上保护铁路企业的生存，应该考虑到人们对铁路安全性的高期望值。

30 多年来高速行车不曾发生过脱轨翻车事故。应该说已经实现了风险水平的显著降低，证明了铁路运输具有高的安全水准。从这个意义上，21 世纪之初铁路的战略目标并不是“安全革命”，而是要把已经取得的高安全水准稳定下来。因此，熟悉和掌握国外铁路安全研究和实践的经验和信息，必将对提高我国铁路运输特别是高速与重载运输的安全水平产生深远的影响。本专题尽管不能作概而全的介绍，但尽其所能，以期达到抛砖引玉的目的。

必须强调指出，在任何事故中，各式各样导致事故发生的主要因素，有些是特定系统和体制所固有的，有些则带有普遍性，可以为不同的系统提供共同的教训。当考虑未来铁路的安全时，首先必须找到现有铁路系统的固有缺陷和弱点，其次必须把视野扩大到铁路以外的系统（如飞机和汽车），了解它们所发生的事故，从中找出现代技术系统所具有的共同问题。

世界工业的发展历史表明，复杂结构和高速度是在 50 年代中期才开始采用的，70 年代之后，计算机及微电子技术的发展加强了这种趋势。尽管先进技术对改善可靠性和安全性作出了很大贡献，但八十年代以来所发生过的事故和灾难都残酷地表明，安全问题远远未解决。追溯这些以不同方式发生在不同技术系统中的灾难性事故，其根本原因都带有某些共性并具有历史的重复性。克服这些共性乃是确保未来技术系统安全的重要课题。首当其冲，必须认真对待若干安全误区。

1. 任何工业技术系统的更新改造都不可能一次全部取代常规技术系统，因此很容易拒绝对即将退役的旧系统进行足够的安全保障投资。而在新系统的设计时往往又侧重按硬件来定向，会出现硬件与人不相适应的状态。

2. 此外，当一个系统中同时并存新旧两种系统时，人员的交叉又会出现不相适应的情况。新系统在开发之初由于认识的局限，尽管基本设计无可指责，也会在那些不曾考虑到的方面出现始所未料的问题，最后导致整个系统破坏也不乏其例。

3. 就人对安全保障的作用而言，不安全因素诱发灾难性后果，这里不光是由于人的操作错误，事实上，在系统的设计、制造、运用、维修保养、检查以及运营管理等各个环节中都会包含着人的判断和决策因素，因此在这些环节中都应具有人的加权综合效果。

4. 就过时的系统、设备和材料而言，腐蚀和疲劳问题是老问题。随着新材料的开发和设计程序所带来的显著进步，人们对金属疲劳或腐蚀造成的后果已变得不甚在意。随着 60 和 70 年代生产的旧技术系统正面临陆续被报废，许多这类技术系统是在未经充分疲劳破坏试验及

使用寿命的精确评估的基础上设计出来的。在新旧系统同时持续运行的环境下，在很多情况下发现腐蚀和疲劳比预想的要快，因此迫使我们必须在设计前重新审查安全标准。

5. 可见，领导和管理人员对设计目标、维修和检查程序及安全标准的决策具有举足轻重的作用。因此，迄今为止在多数人仅把人的因素理解为操作者和维修人员行为规范的观点也是一个重大的安全误区。为克服这一误区，必须强调领导层在科学管理与决策拟定基本的安全措施方面的重要性，大体上可归为下列几点：

①当采用一种新的技术系统时，要建立与我国自己的文化观念相适应的运用和操作形式，充分并全面地培训劳动员工，在新旧系统间调换职工时要非常谨慎，绝不能漠视旧系统的安全规范；

②要防止在系统的周围“地带”形成安全误区，应在从系统维护、检查和修理到周围设备的全面作业范围内执行综合的质量管理和运用控制；

③为了防止人为错误，应该重视作业班组建设，坚持业务培训，进行行为科学的教育，从人的行动特性及心理特性进行诊治，并在设计系统时，考虑故障的自动保护措施，万一发生人的误操作也不致酿成事故；

④为了防止与自动化有关的人为错误，必须考虑到自动化的发展程度要与企业的文化观念相适应，并避免以硬件为中心的设计；

⑤严格执行报废制度，以疲劳破坏试验校核材料和结构的使用寿命，按试验结果制定补救措施；

⑥在管理上建立组织保证系统，安全人员可以不受任何干扰地执行安全职责，行政领导要受安全原则的制约。

总之，改善安全除了需要先进的技术装备系统外，还需要创造一种使员工能积极并创造性地工作的条件”因此培养行政领导与现场职工之间的相互信赖，强调工作场地之间的通讯联络和信息交换，并在管理意识上尊重员工的意见等这些社会性因素无疑都是预防事故的基础。

根据国外经验，对铁路员工进行安全职责的心理学试验，往往可以起到纯技术系统所不能达到的效果。心理学试验应以可训练性和可实现性为目标，包括注意力集中、局部注意力集中，快速感知、多重选择反应以及警戒感等特殊试验。象冒进信号这类事故通常是由疏忽辽望或没有预先警觉而引起的，而与技术水平等有关技能以及对线路和对机车车辆熟悉程度等似乎无关。

可见发生事故的因素是客观存在也是不可避免的。而铁路运输要靠人来完成，我们的任务是尽可能地把事故降到可能的最低水平。因此，对于事故原因的潜在因素进行实质性分析，并从单纯追究责任的消极圈子中跳出来，吸取有益教训达到预防后继事故的目的是至关重要的。对于事故的分析过份强调事后责任，并采用“连保法”的惩罚性警戒措施会导致相互扯皮及推诿责任的消极后果，应引起严重关注，特别是当发生重大事故后，往往因顾及影响政治和社会的负效应而采取严密封锁对策，事实上不会有利于剖析事故的真正原因，反而会成为领导逃脱责任的保护伞。从更高层次上看，事故也是一种财富，是推动技术进步和人的价值尊严的教材，因此，要对职工，首先是对专家、开放事故现场进行科学调查与分析，这是改善铁路安全首先需要迈出的一步。目前在美国、加拿大等国制定的非惩罚性的“不安全因素匿名举报制度也值得借鉴，惩罚只能导致由惧怕心理带来的保守局面；增加找出事故真实

原因并积极提出防范措施与手段的人为障碍，并不能杜绝客观存在的不安全因素。正如前面所说，事故并不只是由操作失误引起的，期望现代化技术完全克服事故损失也是不切实际的，目前在部门之间进行的责任分析，实际上包括了人在规划时所不曾认识的技术环节，例如机车车辆或线路的设计、制造、检修、运用及至标准限度方面的技术环节，如果有问题便是在决策时就潜伏其中了。

我国铁路正面临着史无前例的挑战，铁路运输任重而道远。高速和重载运输在我国尚未起步或经历甚少，因此有关安全体系的建立还须有相当长的历程，需要借鉴与摸索。本专辑收集整理的内容尽管欠系统完整，但作为铁路高速与重载运输实践前夕的信息储备也是有益的，愿对大家有所启迪。

第二章 日本铁路运行安全系统的研究

一、为实现高效、安全的铁路系统而努力

铁路运输的三大原则是安全、迅速、准确，处于首位的安全是运输业务的最高使命。铁路是运人的交通工具，安全是理所当然的，然而从明治五年日本铁路开始至今 100 多年的历史说明铁路的安全是在向事故学习，从事故中总结经验吸取教训，通过不断改进设备和修改运行规则，改进管理体制，加强人的安全教育和培训中不断提高的。

(一) 吸取历史的教训

日本国铁 110 年的历史中，死亡超过百人的特大列车事故屡有发生。在特大列车事故 8 起（见表 1）中除了关东大地震造成颠覆、落海外，其余七件均属多种原因的综合，其中无论怎样的形式均涉及到人的因素。引起事故的典型模式，除包括在这八件事故中外还有 1972 年北陆隧道列车着火（死亡 30 人），1986 年同地因强风而造成后部从桥中落下（有 6 人死亡）等模式。

死亡人数起过 50 名以上的重大事故（国铁）

表 1

发生年份	地点	死亡人数	事故概况
(大正 11 年)	北陆线(亲不知——青海)	88	雪崩
(大正 12 年)	东海道线(根府川)	112	关东大地震造成崩方，落海中。
1940 年	西成线(安治川口)	181	隧道锁闭错误解锁，在列车通过中转换，造成颠覆。
1941 年	山阳线(纲干)	65	冒进信号造成尾追
1943 年	常磐线(土浦)	110	信号与调度人员配合出错。
1945 年	八高线(小宫——揖岛)	105	闭塞回线故障时，二站间联系有错，在桥上发生正面冲突
1945 年	中央线(笹子)	60	司机睡眠开车
1947 年	八高线(东饭能——高丽川)	184	因超员制动失效，在下行弯道处脱轨、颠覆。
1951 年	京滨线(樱木町)	106	作业时误将接触网切断，列车驶入落下的电线而引起着火。
1962 年	常磐线(三河岛)	160	货物冒进信号脱轨，后后续电车冲突，脱轨，并与迎面电车冲突。
1963 年	东海道(鹤见)	161	货物列车脱线，与迎面电车发生冲突，在紧急制动中与后面列车发生尾追。

重大事故可从近 5 年（1986 年起）的事故倾向看，由于下雪打滑造成尾追（西武新宿线）；调车作业错误造成冲突（信越线）；车轴折损造成脱轨和无列车防护造成二次冲突（上越线）；冒进信号造成尾追事故（中央线）；因冒进信号造成与停车的正面冲突（饭田线）；制

动操作错误造成与停车的冲突（阪和线）等等。从上述事故往前追溯不难发现不论在别国铁路或在日本国内均有过历史的重复性，早有先例可以借鉴。除了特大、重大事故外，即使是在没有发生致命的综多事故中，也往往潜伏着危险因素，因此把事故视为教材、科学地调查分析、统计、从中吸取教训可以起到预防后继事故的目的。日本国铁过去对事故处理中以找出责任者作为主位而置最需要的事故调查于第二位，从而引起同类事故不断发生，已引起了反思与重视。从一定程度上讲，正是有了三河岛事故，才有后来的所谓新干线安全系统。

(二) 日本铁路的安全水准与故障安全

日本国铁的安全水平是众所周知的，新干线运行 30 年至今从未发生过人员伤亡更证实了在现代化的高科技时代，铁路运输在与别的交通工具竞争中所处的地位。相比之下，社会对于铁路安全性的要求也彼有差异，日本汽车事故 89 年一年中就死亡 1.1 万人，但报纸上较少报导，过几年就忘了，于是又发生了事故，但铁路即使死亡一个人也会引起大的风波这更说明了铁路安全的社会效应与社会责任极大，说明人们对它的期望值更高。

1985 年以前的 20 年间，铁路旅客、乘务员的事故死亡率为 2.0×10^{-11} (人·公里) 与汽车和国内航空运输相比，分别是它们的 1/750 和 1/150。若将铁路、汽车、飞机的标定速度分别设为 50, 30, 500km/h，铁道每小时乘车的事故死亡率为 1.0×10^{-9} /h (0.9×10^{-5} /年)，分别是汽车的 1/450 和飞机的 1/1500。假设每天乘车 2 小时，每年 200 天，共乘 50 年，所碰到死亡事故的概率为 1/50000 左右，与前 20 年相比，铁路事故死亡的概率降低到 1/3~1/4，此概率还将降低。

从对各个产业领域所要求的安全性水平提案看，无论哪个提案，允许的伴有死亡的危险事件发生概率最低为 10^{-5} /年，见表一2，铁路的旅客、乘务员的危险水准与该值相同。但是安全性不应该仅仅按事故发生的概率来论述，有必要考虑到事故发生的规模问题。铁道事故通常伴随着大量的人员死亡，在这点上，它与汽车事故性质不同。事故死亡者是一人，10 人、100 人的数量级时，其社会影响往往是按死亡人数的二次方、三次方的量级波及社会。

对于各种产业领域安全性要求几个标准举例 表 2

	允许的危险概率
失速的标准	自发行为 10^{-5} /(年·人)
	被动受害 10^{-7} /(年·人)
过燃烧的标准	过程控制 10^{-5} /(年·系统) (以能达到 90% 的可靠性为前提)
城市的标准	完全自动化铁道 10^{-8} /年 与人有关的铁道(ATC 等) 10^{-5} /年
原子能反应堆的标准	向周围的核扩散 10^{-6} /(年·堆) (炉心熔融: 10^{-5} ×格纳容器: 10^{-1})
宇航飞行控制系统	计算机的误动作 10^{-9} /10h(10^{-6} /年)

安全性的要求水准还应以自己造成事故和被害事故划分,前者指标值为 10^{-5} /(年·人)

后者发生频度为 $10^{-7}/(\text{年} \cdot \text{人})$, 这个指标是极为严格的。铁道事故的死亡是按后者的分类, 其水平超过一个数量级。一般在超过二个数量级时就会成为社会问题, 就要采取紧急的安全措施。在提高一个数量级情况下, 虽不会引起那样的骚动, 但对当事者也应采取降低危险的措施。

绝对无故障的可能性是不存在的, 因此与其将事故定为零的空想目标, 倒不如规定从伦理上和社会上都能认同的危险率的最高水准, 明确责任, 采取科学对策, 防止致命事故的发生。设立客观的危险率的目标值, 在为达到此目标尽了最大努力的话, 即使发生了事故, 也能得到舆论与社会的允许。安全性评估是系统安全不可缺少的一环, 其目的是利用科学分析方法, 事先预测事故的危险性并提出对策, 为此要建立能与各主管部门数据库有机结合的综合性事故数据库系统, 在此基础上采用适当的统计学方法来研究评估安全性。日本铁路在吸取别的产业部门经验的基础上正在开展这方面的研究。

(三) 今后的研究课题

随着新干线的不断修建 (目前已有 2000 多公里, 新建并计划再修建 5000 公里), 及对其运行速度要求的不断提高 (包括对既有线速度要求的提高), 面临铁路的安全使命逐年提高。JR 各铁路公司均将安全作为最优先的课题, 投入大量资金与人力进行系统的安全工程建设。它涉及到人机工程、控制工程、防灾工程等等是一门综合的学科。现以东日本铁路公司的安全研究所为例介绍其研究开发的安全课题与成果。

JR 东日本铁路安全研究所是在 1988 年 12 月 5 日中央干线东中野发生事故后, 于 1989 年 4 月 1 日成立的。这是日本铁路内最先以安全命名的专门研究所, 其宗旨是科学探讨铁路运输系统的全面安全问题, 建立安全性更高的铁路运输系统, 把握住岗位中的安全性问题, 提出安全措施。具体说, 第一是预防大事故, 为此, 对事故、灾害的原因、机理进行充分的科学分析, 不仅针对具体的某种事故、灾害提出对策, 以及对各种机器设备的改造提出方案, 还要提出包括人在内的整个铁路运输系统的安全措施和方案。第二是从根本上重新设计现有的铁路运输系统, 最大限度地引进新技术、设施, 从基础和效益的角度研究提高安全性的问题。第三, 在继承过去安全运输系统和养护维修技术和经验的同时, 进一步提高有关安全的技术水平。在研究项目的制定中一方面考虑具备有深长意义、费时较长的基础研究项目; 另一方面又面向现场急需解决的困难问题。该所从 1991 年~1992 年间在对于①安全性评估; ②道口和防灾; ③安全生产中人的作用; ④安全系统等四个领域开展了研究。见表 3。

在安全系统领域为确保列车运行的安全, 要经常确认进路的安全, 若有危险需有不让列车进入的结构。此课题属于研究其基本功能的运行控制及运行管理的领域。目前, JR 东日本是以东京为中心为增强高密度区段的运输能力, 提高既有线、新干线的速度, 确保运行与维修边界领域的安全性等多种功能为目标重新建立新的高速、高密度的运转系统。下一代系统将利用卫星的列车控制方式, 在现代化运转系统中采用应答器, 并有效利用轨道电路。另外, 也正在研究提高由人办理闭塞时的安全性和属于 3K (危险、累、脏) 作业的安全性以及新干线高速行驶的安全性, 开展高效作业的研究。

在道口、防灾领域, 研究开发用于道口安全的地面或车上监视道口、早期发现道口障碍物的列车进路监视系统和安全性更高的新一代道口安全系统。在防灾方面, 致力于开发能把握全面气象情报和预测雨、雪、风的防灾信息系统。此外, 还进行了滑坡和雪崩事前检测的研究。

各领域的研究概念及主要的研究项目

表 3

领 域	概 念	主要研究项目
安全系统	采用尖端技术,利用省力、节能设备建立多功能、高速、高密度运行系统。	• 利用卫星的列车控制方式 • 采用应答器的新信号系统 • 新型列车控制、运行操作支援系统 • 车站、车辆基地间,回送车辆自动运行 • 线路闭锁防护系统 • 研究开发车辆信息化
道口、防灾	为了消灭铁路系统薄弱环节一道口事故,采用先进技术研究新型道口方式。针对铁路系统的自然灾害等现象引起的干扰,建立新式防灾管理系统	• 下一代道口系统 • 列车进路监视系统 • 确切掌握滑坡的安全性系统 • 采用社会气象信息的新型防灾管理系统 • 风的研究
人的因素	从人的因素方面重新认识,今后设想更为复杂、高水平的铁路系统	• 车站的旅客安全 • 根据个人的性格特点的管理指导方法 • 新的培训办法 • 司机台的合适作业,信息指示方法以及设备配置
安全评估	建立事故数据库,可以检索包括其它运输机构的事故等,进行数理解析等科学分析作安全评估。	• 防止事故支援数据库系统 • 分析评价安全的方法 • 四轴车辆的计算机运行模拟。

在安全生产中人的作用研究领域,从防止旅客伤亡事故和作业人员过失事故两方面进行研究,为防止旅客跌下站台或遭到列车碰撞等探讨了设置移动式栅栏等在硬设备上可采取的综合对策,以及防止灾害和列车严重晚点一类的运输恐慌在软件方面可采取的对策。在人员教育培训方面,开发了用于运转作业人员教育培训的CAI(计算机模拟运转教学装置),为防止司机和乘务人员操作失误并提高他们的工作效率,正在进行司机室内司机作业的分析,研究机器的配置与设计等。

在安全性评估领域中包括对车辆、轨道等作出可靠性、安全性评估,各结构因素相互间与自然环境的安全性评估、铁路系统整体的安全性评估。通过这些找出危险因素,制定对策,及安全标准等。该领域的总目标是利用科学分析方法预测事故危险程度、及时提供对策。为此要建立能与各主管部门数据库有机结合的综合事故数据库系统,在此基础上,采用统计学方法来研究评估安全性的方法。例如,列车脱轨是铁路事故中具有代表性的事故类型,为了研究脱轨,开发了计算机模拟软件。在进行列车脱轨机理研究的同时,最近在发生列车脱轨的道岔附近,进行了现场试验,查清列车脱轨的原因。还运用轮重、横压测量技术,进行了新干线高速运行试验列车的走行安全性确认试验。

短短几年以来,该所在“列车进路监视系统”一利用图象信息可以检测到约1000米前方的人物图象,掌握了司机视力看不见的远方情况;“采用应答器的新型综合信号系统”,“安全数据库等”方面均已取得一定成果,这些成果无疑对既有线高速化及提高高速列车运行安全性均有一定作用,今后作为日本铁路的安全基地将与其它铁路部门携手共进,为实现安全、高