



交通运输安全技术

JIAOTONG YUNSHU ANQUAN JISHU

唐智慧 牟瑞芳 左廷亮 编著



济南大学出版社



感谢国家重点研发计划基金（2016YFC0802209）的大力资助

交通运输安全技术

唐智慧 牟瑞芳 左廷亮 ○ 编著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

交通运输安全技术 / 唐智慧, 牟瑞芳, 左廷亮编著.

—成都: 西南交通大学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5643-5780-1

I. ①交… II. ①唐… ②牟… ③左… III. ①交通运输安全—安全技术 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 227750 号

交通运输安全技术

唐智慧 牟瑞芳 左廷亮 / 编 著

责任编辑 / 周 杨

助理编辑 / 宋浩田

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 11.75 字数 286 千

版次 2017 年 11 月第 1 版 印次 2017 年 11 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-5780-1

定价 25.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

交通拥堵、交通事故是世界各国大中城市面临的共同问题，引发这些问题的主要原因是交通秩序混乱和交通效率低下，归根结底是信息供给不足和管理措施不利。因此，如何全面采集交通系统中的静态、动态交通信息，尤其是实时的交通动态信息，并从种类不同、准确度也有差异的交通信息中挖掘更准确和更深层次的信息，使之更好地得到应用，从而保障交通运输系统的安全，提高交通时空资源利用率，便成为当代交通运输系统急需解决的关键技术问题。

本书围绕信息采集、信息传输、信息处理、信息的发布与应用，从现代交通安全保障系统的信息链出发，通过对交通运输系统中人、车、路、环四个组成要素信息的采集、传输、处理，详细阐述了交通运输安全监控与保障系统的相关技术。本书以通用的交通运输安全理论为基础，侧重道路交通与轨道交通安全技术，主要围绕驾驶员、载运工具、道路及其交通环境几个方面安排内容。全书共分为八章，第一章是绪论，介绍了现代交通运输系统面临的问题及其解决需涉及的相关技术，由牟瑞芳编写；第二章、第三章、第四章分别从道路交通信息的采集、车辆信息的采集、驾驶人信息的采集，介绍了道路交通流相关参数的采集技术，车辆定位与车型识别技术、驾驶人状态识别与辨识技术，由唐智慧编写；第五章是交通信息传输技术部分，由左廷亮编写；第六章是交通信息处理技术部分，由唐智慧、郑伟皓编写；第七章是地理信息系统技术部分，由牟瑞芳编写；第八章是交通运输安全技术的应用，由左廷亮编写。全书编写得到了国家重点研发计划基金（2016YFC0802209）的大力资助，

《交通运输安全技术》的编写力求满足安全工程专业课程体系和课程教学的新发展，立足现实，反映前沿，力求创新，既包括已经成熟并被公认的理论学术思想，又反映安全工程学科领域具有前瞻性与代表性的最新理论、技术和方法，并借鉴吸收世界上发达国家的先进理论、理念与方法。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请批评指正。

编 者

2017年10月

目 录

1 绪 论	001
1.1 交通运输系统存在的问题及现有的解决方案	001
1.2 交通运输系统新思路——智慧型交通运输系统	018
1.3 智慧型交通运输系统涉及的相关技术	021
2 道路交通信息采集与处理技术	025
2.1 传感器的含义与组成	025
2.2 环型线圈感应式检测技术	026
2.3 远程交通微波检测器技术	032
2.4 视频检测技术	037
2.5 交通检测器的优化选择	046
3 车辆信息采集与处理技术	052
3.1 车辆定位技术	052
3.2 自动车辆识别技术	067
3.3 自动车型分类技术	070
4 驾驶员信息采集与处理技术	073
4.1 驾驶员信息采集指标	073
4.2 驾驶员视觉信息采集	073
4.3 驾驶员听觉信息采集	079
4.4 驾驶员反应能力信息采集	080
4.5 驾驶员注意能力信息采集	082
4.6 驾驶员速度判断能力信息采集	084
4.7 驾驶员操作技能信息采集	085
4.8 驾驶员心理特征信息采集	085

5	交通信息传输技术	089
5.1	交通运输对通信技术的要求	089
5.2	交通通信技术的基础	094
6	交通信息处理技术	114
6.1	简单交通信息的处理	114
6.2	交通信息的融合技术	116
6.3	交通信息的地图匹配技术	120
6.4	路径优化技术	126
6.5	交通信息共用信息平台	129
7	地理信息系统 (GIS) 技术	137
7.1	概 述	137
7.2	交通仿真数据的采集、管理	142
7.3	交通仿真系统的空间数据结构	144
7.4	交通仿真系统中空间信息基本分析方法	152
8	交通运输安全技术的应用	157
8.1	基于 GPS 技术的营运车辆监控调度系统	157
8.2	城市交通事件应急管理系统	162
8.3	铁路防灾安全监控系统	169
	参考文献	182

1 绪 论

1.1 交通运输系统存在的问题及现有的解决方案

1.1.1 道路交通系统存在的问题及现有的解决方案

交通是国民经济的基础产业，也是社会发展和人民生活水平提高的基本条件，中国自古以来就把衣食住行列为人们生存的四大要素。而在当今社会，交通运输的发达程度更是衡量一个国家现代化程度的标志之一。

随着国民经济尤其是社会主义市场经济的快速发展，对交通运输的各种需求明显增长，这使得车和路的矛盾、交通和环境的矛盾过早地降临到高速发展中的中国。

1.1.1.1 道路交通系统存在的问题

车和路的矛盾已成为百姓生活的热门话题，主要表现在以下三个方面。

1. 交通不畅

首先以美国为例：

- (1) 城市内道路以及州际间的高速公路有 50% 以上的时间都处于严重阻塞状态。
- (2) 交通高峰期，54% 的车处于拥挤状态。
- (3) 2003 年的美国，因交通阻塞多耗费 37 亿小时。
- (4) 因时间和汽油的浪费，每年损失高达 780 亿美元。
- (5) 有些道路饱和度不到 0.7，占道路总量的 50% 左右。

其次看中国：

- (1) 大部分城市的平均车速不到 20 km/h，有的路段只有 7 ~ 8 km/h。
- (2) 每年因为交通堵塞造成的 GDP 损失达到 5% ~ 8%。
- (3) 广州每年有 1.5 个亿小时和 117 亿元的生产总值损失。

整个世界都存在堵车的问题。堵车的程度已经成为衡量一个城市是否能被称作都会的“必要标准”。曾有“东方威尼斯”之称的曼谷，难见首尾的车龙已经将运河的曼妙摧残殆尽，而影响硅谷未来繁荣的除了经济的整体低迷，可能还有那两条出入口永远都处在拥堵状态的高速公路；三十年前，私家车在莫斯科尚属罕见之物，今天，要想从那里到 30 km 外的什雷姆提耶夫国际机场，运气不好的话，你得花上两个半小时。

2. 事故频发

(1) 据估计,全世界每年道路交通事故死亡人数超过 120 万,平均 2 min 就有一人死于交通事故。

(2) 20 世纪,道路交通事故共计造成 2 585 万多人死亡,而第一次世界大战造成的死亡人数大约 515 万,是前者的五分之一。

(3) 2006 年,我国共发生道路交通事故 378 781 起,共造成 89 455 人死亡,431 139 人受伤,直接财产损失达 14.9 亿元。

(4) 2007 年,我国共发生道路交通事故 327 209 起,造成 81 649 人死亡、380 442 人受伤,直接财产损失达 12 亿元。

3. 环境污染

(1) 汽车排放的有害气体扩散到空气中造成的空气污染占整个城市空气污染的 60%,最高甚至达 90%;

(2) 洛杉矶光化学烟雾事件。

汽油燃烧后产生的碳氢化合物等在太阳紫外光线照射下发生化学反应,形成浅蓝色烟雾,使洛杉矶市大多市民患了眼红、头疼病。1955 年和 1970 年洛杉矶又两度发生光化学烟雾事件,前者有 400 多人因五官中毒、呼吸衰竭而死亡,后者使全市四分之三的人患病。

(3) 噪声的污染。

1.1.1.2 道路交通系统解决问题的现有方案

面对以上矛盾和造成的问题,通常有三种解决办法。

1. 控制需求

即限制道路交通流量,主要通过以下两种途径:

(1) 控制车辆保有量:如中国的香港、上海。

(2) 控制车辆上路量:

① 通过提高汽油税控制上路汽车数量:如伦敦、香港。

② 通过收取上路费控制高峰期严重拥堵的地区、路段的上路汽车数量:如新加坡、伦敦。

2. 增加供给

也就是修路,即加速基础设施建设。

根据交通工程学家的研究成果,我国城市道路面积率应在 20%以上,目前大多数城市不到 10%,因此,在一定时间内可通过大力发展基础设施建设的方式来解决道路系统中的交通问题。

然而,这种方式却具有一定的局限性:如道路里程增长率远远低于车辆保有量的增长率。因而只能在基础设施建设还未完善前起作用。例如:

1982—2000 年的美国,年车辆公里数增加 72%,道路里程的增长却仅为 6%;
1978—1998 年的中国,20 年中机动车数量增长了 12 倍,平均年增长率为 15%以上。而同期道路里程年均增长率却不足 2%;

自 2000 年以来,深圳市小汽车量的年均增长年达 28.8%,而同期深圳市道路里程的年均增长率仅为 8%。

车多了便修路,这似乎是政府疏解交通流量的本能反应,饱受堵车之苦的人们也最愿意把道路当做替罪羊。但在北京,路却一修就堵。1992 年,北京的也是中国的第一条全封闭、全立交、没有交通信号灯的城市快速路——二环路竣工通车。当时的决策者宣称,保证十年不堵车,事实上也没有人会相信这样的路会堵。但是,通车之日便是堵车之时,接下来,类似的命运又在三环路、四环路上演。2002 年年底,北京道路总长 18 759 km,比 1997 年增加了近 800 km,但与此同时,北京市的机动车保有量却增长了 100 万辆。通过这样的数字很容易推导出道路建设滞后于车辆增长的结论。“路不够用”是一个不言而喻的现实,所以,北京的路处于一直在修的状态。但是,将“一路畅通”的希望寄托在道路的延展之上并不现实。道路无论怎么修也赶不上汽车的增长,这是一个在世界各地都得到证实的普遍规律。

以上两种方法存在如下弊端:

(1) 经济的发展必然带来人们出行的增加,因此限制车辆数目的增加不是解决问题的好办法。

(2) 长期以来,国外在车与路的矛盾中无一例外地采取增加供给的方法。对于我国,由于基础设施数量的缺口很大,因此在相当长的一段时间内交通运输增长的需求主要还是靠提供更多的基础设施来满足,特别是建设完善的道路网络和其他基础设施。

(3) 随着基础设施快速发展的同时,经济与技术的发展,仍将使人们面对越来越拥挤的交通,有限的资源和财力以及环境的压力,将使建设更多的基础设施受到限制。

3. 加强城市交通管理

加强城市交通系统的管理在很长一段时间内被认为是解决城市交通问题的有效途径。

主要有以下一些管理手段:

(1) 加强交通法规建设,制定限定性交通法规:例如,单行线、禁止左转弯、限制某些型号的车辆在某个路段或特定日期和时间上行使等。这种办法通常是强制性的。

(2) 加强宣传教育,提高交通参与者遵守交通法规和现代交通的意识。

(3) 确定合理完善的城市交通规划:以解决交通设施的供给与交通需求的矛盾,使城市道路网络布局合理化。

(4) 进行城市交通信号控制是改善城市交通运行状况的另一途径。城市交通控制主要是指城市交叉路口的交通控制。自 1914 年美国城市出现交通信号控制以来,城市交通控制技术已由开始的“点控”“线控”向“面控”进行了过渡。“点控”就是对单个路口的交通信号实施单点定时控制;“线控”就是对交通主干线的交通信号进行协调控制,从而在一条或多条道路上形成“绿波带”,保证大多数汽车在行驶到各个路口都会遇到绿灯;“面控”是一种通过采用计算机(路口计算机、区域计算机和控制中心计算机)联网控制,根据交叉路口对交通

流的实时控制状况，通过研制的交通模型和软件确定交叉路口红绿灯配时方案，实现整个交通路网配时优化的交通控制系统。

（5）优先发展公共交通：随着汽车保有量的增加，特别是私有汽车数量的逐渐增加，使得交通供给严重不足，交通拥挤现象更为严重。于是各国政府都纷纷出台了“优先发展公共交通”的政策，鼓励出行者乘坐公共交通出行，并且大力发展安全、快捷、大运量的轨道交通（如地铁和轻轨），收到良好的效果。

1.1.1.3 道路交通系统现有解决方案存在不足

城市交通系统是一个复杂的大系统，因而，单独从车辆方面考虑或单独从道路方面考虑都是片面的，仅考虑车或仅考虑路尚不足以经济而高效地解决交通拥挤和交通安全方面问题，所以必须把人、车、路综合起来考虑，充分应用现代科学技术来解决城市的交通问题。

1.1.2 铁路运输系统事故典型案例分析及其现有解决方案

1.1.2.1 铁路运输系统事故典型案例

1. 1998 年 6 月 3 日发生在德国 Eschede（埃舍德）的世界最惨重的高速列车脱轨事故

德国铁路的提速战略带来了轨道交通高速发展的同时也带来了许多的安全问题。1998 年 6 月 3 日，在德国 Eschede 发生了世界最惨重的高速列车脱轨事故，死亡 100 人，伤 88 人（图 1-1）。事故原因是车辆轮箍的金属疲劳，导致轮箍的突然断裂，这也是迄今为止世界高速铁路最严重的人员伤亡事故。事故原因：采用橡胶弹性轮胎，没有进行轮对超声探伤。

德国 ICE1 型高速列车于 1998 年 6 月在德国北部小镇埃舍德发生了德国铁路有史以来最为惨重的列车脱轨事故，造成 100 人死亡，60 多人重伤，使运输技术装备（车辆、线路和桥梁等）遭受重大损失。事故发生后引起世界震惊。



图 1-1 1998 年德国列车脱轨事故现场

（1）事故过程。

1998年6月2日深夜，在德国慕尼黑，一列具有动力车头401051和401551的ICE1动车组驶入慕尼黑ICE列车段，对首次交付使用的GTO机组进行了处理，然后清洗列车，驶过轮对诊断装置，进入检修库。工作人员对动车组进行了历时88 min的检修。几个小时以后，它于5时57分作为ICE884次高速列车开往汉堡。

1998年6月3日10时30分刚过，列车从汉诺威驶往下一站的汉堡，此时餐车关闭。列车行驶在扩建线上还不足半小时，第1节拖车802808-6号上的旅客听到了很大的嘎嘎响声，并且车厢开始左右摇晃。迄今查明的原因是由于该拖车后转向架上的轮箍在事故地点前6 km处、列车速度为200 km/h时断裂，轮心松弛。这部分断裂的轮箍拥塞在高速运转的转向架中。此后，列车第1节车厢虽然缺少了轮箍，但还是在线路上运行了5.5 km。在埃舍德车站事故发生地前方200 m处，轮箍卡在道岔的护轮轨中，从而将其劈开，并冲入第1节拖车内部，使其部分折断。可能是由于这种冲撞的能量使损坏的轮对向右倾斜，轮心从轨头上滑脱，使左面车轮脱轨，在大约运行了120 m之后撞在了远方道岔的辙轨上。前面的动力车头401051号与其后的车辆分离，继续向车站北方行驶了2 km，由于强制制动而停车。这种冲撞的动能使道岔组移向右方，并使第1节拖车及其后继车辆相继脱轨。第3节拖车横在桥下，其尾部猛烈冲撞桥墩；第4节车辆冲下边坡，横在防护墙前；第5节车辆撞到了线路附近的桥墩，冲过倒塌桥梁的前半部，后半部被倒塌的桥梁砸坏；第6节车辆被混凝土块掩埋；其余7~12节车辆由于尾部动力车头401551-7未来得及切除及在巨大的惯性的推动下，就像一个折尺一样彼此错位挤压在一起。这次灾难所造成的后果是100人死亡，60多人重伤。

（2）事故原因。

① 采用橡胶弹性车轮。

在事故发生后，ICE1列车采用的橡胶弹性车轮首先受到公开质疑。

ICE1列车最早采用的是整体车轮（一体车轮结构，没有轮箍）。经过长期运用以后发现，由于轮对磨损而形成的不圆度会产生干扰噪声，在运行时发出嗡嗡声响。于是在1992年3月被放弃使用，改用橡胶弹性车轮。德国VSG交通技术公司生产的ICE1列车有80%用的是这种车轮。这种被命名为“Bochum 84”型车轮的生产至今已超过6 000个。VSG公司生产橡胶弹性车轮已有50年的历史，过去大量生产的B054型车轮曾供城市铁路和有轨电车使用。这种车轮具有多个扇形块组成的V形橡胶块，起阻尼作用。原6 cm厚的轮箍被压在具有硬橡胶的轮心上，并用一个固定环通过螺钉拧紧固定。装配时没有任何加热措施。这种车轮使用前要经过多种检验，如热尺寸检验、超声检查、磁力探伤和表面尺寸确定等；在运行期间有详细的维修计划。1997年这种橡胶弹性车轮曾在有轨电车上发生过轮箍断裂事故。尽管那次轮箍断裂事故是否可以和这次ICE1车轮轮箍断裂事故进行对比还存有疑问的。但一些专家还是对这种车轮提出了很大的质疑。根据VSG交通技术公司的看法，有轨电车的轮箍断裂发生在通电流的动力轮对上，通电流可以产生微淬硬现象，所产生的缺口应力集中效应降低了许用应力水平，因此引起过高应力而产生裂纹、断裂。而ICE1橡胶弹性车轮则不是这种情况，断裂轮箍属中间拖车的纯从动轮对。

尽管有这样的解释,还是有一些专家认为,事故是由于采用橡胶弹性车轮引起的。ICE1 车轮轮箍断裂原因除了由于轮箍表面裂纹外,还可能由轮箍内表面裂纹引起。这些轮对由于套装橡胶后,使车轮刚度大为下降,在线路上滚动时总有些压扁,就像汽车的轮胎一样。在压力的作用下轮箍内表面产生与橡胶块相分离的拉应力。由于轮箍不断被滚压,就相当于对一种薄材料施以高负荷,而造成轮箍内表面折损,产生裂纹。德国的 Frankhofer 工作强度研究所对极端负荷下的轮箍进行了研究。研究证明轮箍裂纹也能从内部形成。但遗憾的是,直至事故发生前都未有科学工作者对 ICE1 中间拖车应用的 Bochum84 车轮进行过这方面的研究。汉诺威大学测量和控制研究所的 F Hock 教授认为,橡胶弹性车轮断裂可能是由于轮箍内侧折损所造成的。对于 ICE1 列车导轮用的 Bo84 车轮滚动时产生弹性变形,在超过许用应力情况下,理论上肯定会出现裂纹,并与轮箍厚度有关。ICE1 列车轮箍允许磨损厚度为 30 mm,而发生事故的断裂轮箍磨损几乎已经达到规定的剩余厚度。

② 没有进行轮对超声探伤

定期对轮对进行超声检验可以防止由于车轮或轮箍断裂从而发生重大事故。德国铁路每年有上百万个车轮运行。据专业人士统计,每年大约只有 1~2 个车轮失效。其主要原因是高速、重载引起踏面机械过载,常出现热裂纹、热淬硬和粘焊现象,造成踏面剥离,噪声加大等。

为了对 ICE 列车进行安全性和技术性检验,在 ICE 高速列车段均安装了轮对诊断装置,简称 ULM 轮对诊断装置。每 3~4 天在 ICE 列车常规检修时,列车以 6 km/h 速度通过轮对诊断装置自动检测诊断。这种装置由 3 部分组成,即 U、L、M,其中 U 部分为超声检验,检验的目的是测量踏面上的横向裂纹;L 部分为型面光学测量,测量的目的是得知型面误差和型面磨损状况;M 部分是通过测量杆来测得车轮的不圆度和擦伤情况。采用 L 和 M 部分测量不仅能够获得轮对的磨损数据,而且还能决定镟轮的最佳时刻。而超声检验 U 则只能给出 3 个等级(更换或加工;进一步检验;正常)的状态信息。有关人士透露,ULM 中的超声测量设备已经很长时间没有使用,它不再作为检验的例行程序了。其原因是这种测量设备有不足之处,对车轮踏面粗糙度的反应过于灵敏,甚至连轮箍运用中极普通的正常表面结构也会作为故障通报。因此通报故障率极高,大约有 20% 的车轮被虚假地查出裂纹。因此从 1993 年起就放弃了这种自动化的超声检验,用“人工检查”代替,通过车间有经验的工人用手电筒观察和小榔头敲击的方法来鉴定轮箍是否有裂纹。显然这种方法带有人为的因素。

2. 2001 年 2 月 28 日发生在英国塞尔比的道口事故

2001 年 2 月 28 日,一列从纽卡斯尔开往伦敦的火车在英国东海岸约克希尔郡北部的塞尔比发生事故。当地时间 2 月 28 日 6 时 12 分(北京时间 2 月 28 日 14 时 12 分),一列高速列车与一列在东海岸主干线行驶的货车突然相撞,造成 15 人死亡,50 人受伤。事故现场见图 1-2。

事故原因是:由于路滑导致汽车冲上轨道。

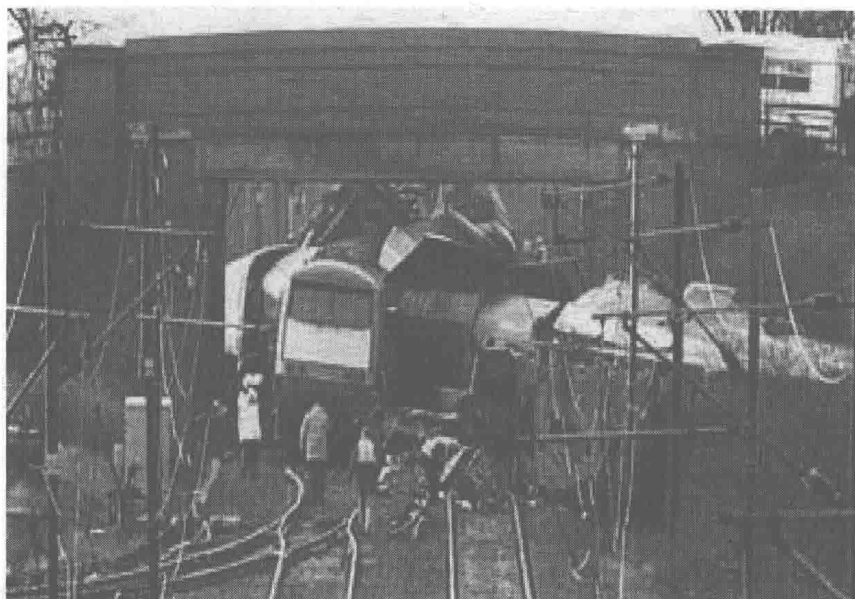


图 1-2 英国高速列车与货车相撞事故现场

3. 2002 年 4 月 24 日发生在美国加利福尼亚州南部普拉森舍地区的两列火车迎头相撞的事故

2002 年 4 月 24 日，美国当地时间 23 日早晨 8 时左右，美国加利福尼亚州南部普拉森舍地区发生两列火车迎头相撞事故，当场造成 3 人死亡，还有 265 人受伤。见图 1-3。



图 1-3 美国铁路货车与列车相撞

4. 2002 年 11 月 6 日发生在法国巴黎至维也纳高速列车上的火灾事故

2002 年 11 月 6 日，巴黎至维也纳的高速列车。列车电路系统短路引发了一节卧车车厢失火，12 人由于吸入大量浓烟而窒息死亡。见图 1-4。

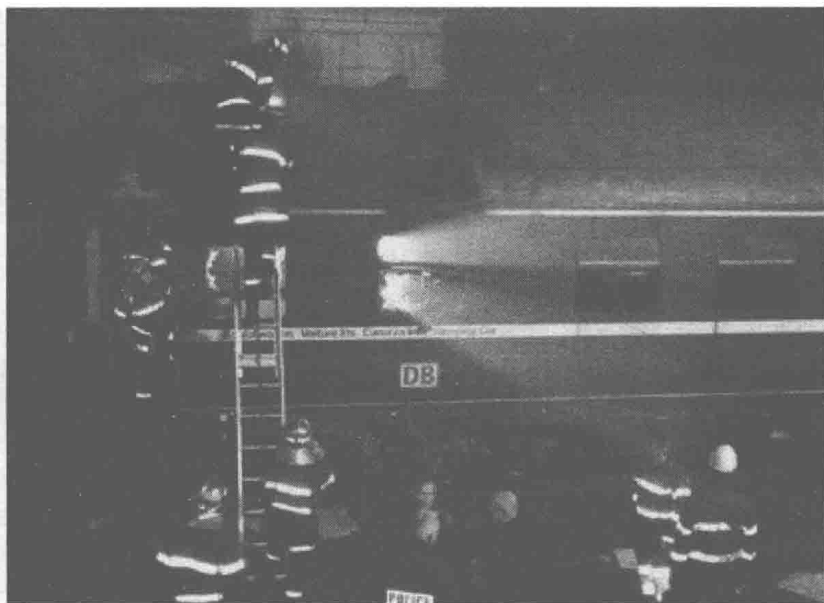


图 1-4 法国高速列车火灾事故

5. 2003 年 8 月 8 日发生在韩国汉城以南 337 km 的大邱附近的冲撞事故

韩国火车相撞事故发生于 2003 年 8 月 8 日，韩国一列客运列车当日上午在汉城以南 337 km 的大邱附近撞上了停在铁路上的货运列车，至少造成两人死亡，95 人受伤。见图 1-5。



图 1-5 韩国铁路事故

6. 2004 年 10 月 23 日发生在日本新潟中越地区的脱轨事故

2004 年 10 月 23 日新潟中越地区地震发生时，新干线列车“朱鹮 325”号正以时速 200 km 的速度行驶，驾驶员感到强烈的摇晃后，仍能沉着冷静地操作。在 10 节车厢中有 8 节脱轨的情况下，列车仍行进约 1.6 km。虽然铁轨弯曲变形、车身倾斜 30° ，但总算没有翻车。151 名旅客安然无恙，实属不幸中的万幸。见图 1-6。

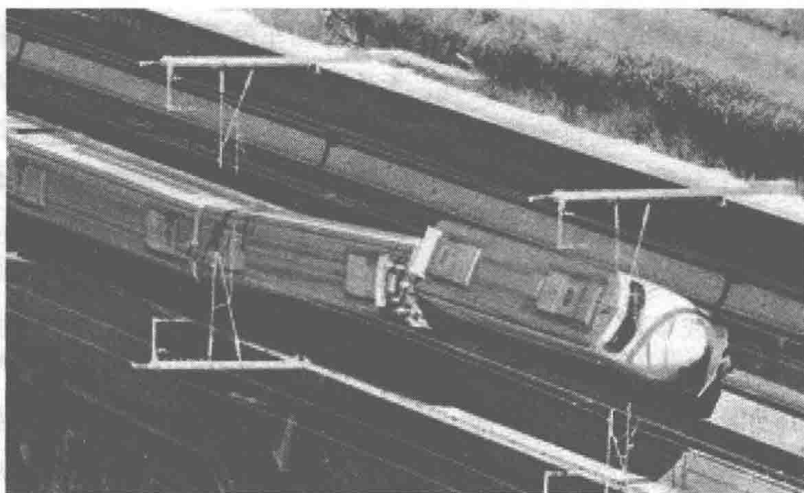


图 1-6 新干线脱轨事故现场

1.1.2.2 铁路运输系统现有事故防范措施

从以上几个国家的事故中可以总结出以下结论：

铁路事故的发生与本国的实际情况有着重大的联系，像日本等岛国，事故的发生往往与自然状况有着密切的联系，而像美国、法国等大陆型国家，行车事故往往由于速度过快，铁路和公路的交接部发生问题连线。

铁路事故形态主要有列车脱轨、列车冲突、火灾三种类型。

铁路事故，尤其高速铁路事故的发生，往往会造成很大的损失，而且人员的伤亡也较严重。

下面就几种典型的高速铁路事故形态进行原因分析。

1. 车辆脱轨

车辆脱轨，通常又称为车辆脱线，只要车辆轮对或其中一个车轮脱下钢轨，就叫做车辆脱轨。若只有一个轮对或其中的一个车轮脱轨，叫做某位轮对或某位轮对的某位车轮脱轨；若一个转向架的轮对全部脱轨，叫做某位转向架脱轨；若一辆车的转向架都脱轨时，叫全车脱轨。车辆脱轨，若发生在调车作业时，称为调车车辆脱轨；若发生在列车运行图中，称为列车脱轨。

车辆脱轨根据其造成的原因不同可分为外物支垫脱轨、车轮自行脱轨和列车悬浮脱轨等几种。外物支垫脱轨，包括因机车车辆配件折损或脱落、大件货物坠落、线路障碍（进路、行车及养路设备、塌方落石、人为设置障碍等）、道口障碍（各种车辆堵塞等）以及自然灾害（水害、冰害、雪害）等造成顶起或垫起车辆或轮对导致的脱轨；车轮自行脱轨，包括因车辆和车辆轮对故障及线路不良、货物偏载、机车操纵、列车超速运行等原因，导致车轮自行爬上、滑上或跳上钢轨造成的脱轨，列车悬浮脱轨，是因列车在曲线地段运行等特殊情况下，车辆产生瞬间悬浮使车轮脱离钢轨而造成的脱轨。

车辆脱轨的危害是非常大的，轻者造成延误列车正点运行及造成车辆、线路、设备、货

物等物资损失和人员伤亡；重者造成旅客列车及货物列车颠覆的重大、大事故，使人民生命财产遭受重大损失。车辆颠覆或重车脱轨时，无论外观如何，均须对轮座镶入部位施行超声波探伤检查。因此，研究车辆脱轨的规律，制订和实施防止车辆脱轨的措施，全面防止车辆脱轨的发生，是一项十分重要的任务。本节就分别将支垫脱轨和车轮自行脱轨的特征及原因分析做一一概述。悬浮脱轨放在第七章防止事故措施中一并阐述。

（1）外物支垫造成的脱轨。

外观特征：在车辆或车轮、钢轨上有较明显的支（顶）或垫（挤）造成脱轨的痕迹；支垫的外物（包括线路进路障碍）一般都在发生脱轨地点的附近。如调车脱轨，有较明显的挤岔子、进四肢、压坏脱轨器或脱落的配件、货物等；如途中列车脱轨，一般有破损脱落的机车车辆配件或大件货物，或线路上有塌方落石、工务施工的起道机或液压捣固机、或人为摆石头其他障碍、或道口处撞坏的机动车辆等；若因机车车辆配件支垫脱线的，一般在脱轨处的前方线路上，有脱落配件刮、打线路的痕迹，而且在脱轨发生地点的线路有较明显的破坏象征等。

原因分析：如上所述，造成支垫车辆脱轨的原因很多，不可能一一进行叙述，为立足于车辆部门本身的研究和预防，下面仅就车辆责任造成的支垫脱轨问题做简要分析。

① 车辆配件破损脱落造成垫（挤）车轮而脱轨。如车辆切轴，制动梁或均衡梁折断脱落，车钩或缓冲器破损脱落，手闸、车门、平车渡板脱落等等；这些脱落的配件掩在车轮与钢轨之间，或卡搭在钢轨上，将车轮挤上或垫上钢轨而造成脱轨。有的是因列检责任造成轧脱轨器脱线。

② 车辆大型配件折断或脱落支起车辆脱轨。如车辆中梁、侧梁、枕梁、牵引梁、横梁或摇枕等折断，或制动梁、下拉杆等脱落，容易在运行中将车辆或转向架顶起来，使车轮离开钢轨而导致脱轨。

车辆脱轨后，造成线路破坏和运行障碍，若这时列车运行速度高、牵引辆数多，就容易引起多节车厢脱轨或颠覆的重大事故。

（2）车轮自行脱轨。

外观特征：发生脱轨地点的线路无明显的障碍物和支垫造成脱轨的痕迹；开始脱轨车辆的前部车辆（机车）无先期破损象征；脱轨前的线路上一般也没有明显的外物刮、打的痕迹；但在第一个转向架或轮对开始脱轨的线路上，通常都有车轮上下钢轨的痕迹；此后，线路才开始破坏（引起后部车辆脱轨时除外），一旦发现这种脱轨象征，即大多为车轮自行脱轨。

原因分析：如以上支垫脱轨一样，造成车轮自行脱轨的原因也很多，但绝大多数是线路不良造成的；如线路施工故障、断轨、路基有“三角坑”、线路水平与轨距超限、曲线及道岔、辙岔不良等；少数是因车辆及车辆轮对故障、列车超速运行和货物偏载等造成的。下面仅就因车辆责任的主要原因做分析。

① 车轮轮缘严重磨耗、垂直磨耗或缺损造成脱轨。

因车轮经常处于蛇行运动状态，轮缘与钢轨内侧面经常发生冲撞磨耗；在曲线上由于离心力作用，外侧车轮轮缘与外轨内侧面因经常发生摩擦而造成磨耗；当转向架两侧固定轴距

及摇枕挡、轴箱导框等间隙超限时，更加剧了这种磨耗和损伤；结果易造成轮缘厚度磨耗和垂直磨耗超限，或造成轮缘缺损。

轮缘厚度磨耗超限，使轮横向串动量加大，给车体带来摆动，严重时造成脱轨。

② 车轮裂损及踏面缺损造成脱轨。

车轮裂损，是因材质不良、辗铸工艺缺陷或材质疲劳等原因造成裂纹，未及时发现处理，扩大为裂损或破碎，造成的脱轨。

③ 车轮内侧距离过大、过小造成脱轨。

● 内侧距离过大时，不能保证安全通过最小轨距和安全通过辙叉。

不能通过最小轨距的原因，《技规》规定最小轨距为 1 433 mm，轮对最大内距为 1 356 mm，加上两个最厚的轮缘厚度，应能通过最小轨距且必须有一定间隙；其间隙为：

$$\begin{aligned} \text{间隙} &= \text{最小轨距} - (\text{最大内距} + \text{最厚轮缘} \times 2) \\ &= 1\,433 - (1\,356 + 32 \times 2) = 13 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

每侧间隙为一半，即 6.5 mm；若车轮内侧距离过大超限，就易造成挤道，严重时导致脱轨。

不能安全通过辙叉的原因见图 1-7，《技规》规定辙叉的作用面至护轮轨头部外侧距离不得小于 1 391 mm；当车轮按图 1-7 的方向通过辙叉时，由于诱导曲线的影响，外侧车轮轮缘必然紧贴辙叉的作用面，内侧车轮内侧面则必然贴近护轮轨头部，若车轮最大内距加一个最厚轮缘厚度后超过 1 391 mm 时，外轮轮缘就有可能爬上辙叉心从而造成脱轨。这时正常的安全间隙为：

$$\begin{aligned} \text{辙叉心与护轮轨头部外侧距离} - (\text{车轮最大内距} + \text{一个最厚轮缘厚度}) &= 1\,391 - (1\,356 \\ &+ 32) = 1\,391 - 1\,388 = 3 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

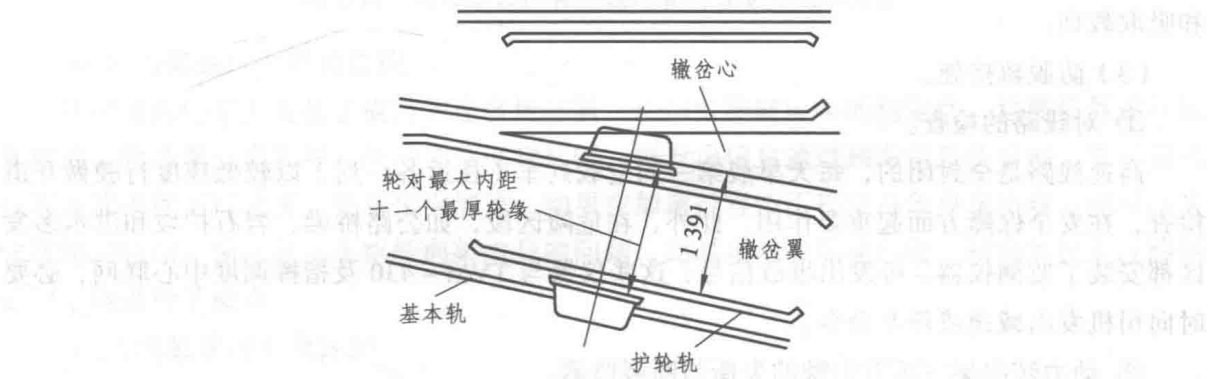


图 1-7 列车脱轨机理图

● 内侧距离过小时，不能保证安全通过辙叉护轮轨和安全通过最小半径曲线。

不能保证安全通过辙叉护轮轨的原因，如图 1-8 所示，《技规》规定，辙叉翼轨作用面至护轮轨外侧面距离最大为 1 348 mm，车轮内距最小为 1 350 mm；这时的间隙为 1 350 - 1 348 = 2 mm，考虑重车时车轴微弯，内距可减小 2 mm，则间隙为 (1 350 - 2) - 1 348 = 0 mm，车轮刚好擦过；若内距小于最小限度，则易与护轮轨相挤压，严重时导致爬上轨面脱轨。