

高速运输系统安全

余也艺 编译

中 国 铁 道 出 版 社

1996 年 · 北京

MARTA	亚特兰大快速公共交通管理局
MU	多机组。在多机组上全部或大部旅客车辆是独立驱动，并不使用单独的机车
N	牛顿：力的公制单位
NBS	德国联邦铁路新建的高速线
NCAP	美国国家公路交通安全管理局的新车评价程序
NHTSA	美国国家公路交通安全管理局
NTSB	国家运输安全局（美国）
PATCO	港务局公交公司（Lindenwold 线）
PHA	初步危害分析
PSE	巴黎东南线 法国国营铁路从巴黎到里昂的高速线
QRA	定量风险分析
RENFE	西班牙国营铁路
ROW	地界：在其上建造 HSGGT 导轨的地带
SACEM	辅助控制和维护的系统。法国应用于巴黎高密度通勤铁路线的 ATO/ATP 系统
SBB	瑞士联邦铁路
SELTRAC	由加拿大 Alcatel 研制的移动闭塞信号系统
SSI	固态联锁
Shinkansen	日本高速轮轨系统
SI	根据米（m）、公斤（kg）、秒（s）作为主要单位的国际公制单位系统
SJ	瑞典国家铁路
SNCF	法国国营铁路
STWR	（车辆）强度对重量之比
TGV	法国高速列车。也用来代表完整的法国高速铁路系统
TR	超快速 德国电 磁磁悬浮设计
UIC	国际铁路联盟
U.K.	联合王国（英国）
ULA	极限负荷分析（用于碰撞分析）
UMTA	美国运输部城市大量运输局。这个机构的名称目前已改为联邦公共交速管理局（FTA）
U.S 或 US	美国
Vital	一个以这样的方式执行关键功能的安全部件或系统，应保证单个预期故障不能造成一种非安全的条件。
VNTSC	Volpe 国家运输系统中心
WMATA	华盛顿城区运输局

本一览表不提供用于各个计算机分析软件包的缩写

(京)新登字 063 号

图字: 01-96-0337

高速运输系统安全

余也艺 编译

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 孙燕澄 封面设计 赵数字

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19.25 字数: 460 千

1996 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—1000 册

书号: 17113·1122 定价: 50.00 元

编者的话

在美国,面对高速公路的拥挤不堪,100多个大城市地区对臭氧层污染超标以及廉价燃油时代一去不返的形势,越来越多的城市交通正在转向铁路。目前,至少已有29个州的48座城市正在计划新的或扩展现有的地面轨道运输系统。

克林顿政府对客运铁路给予特别支持,总统预算提案中包括一项5年内对城市间铁路投资13亿美元的计划。1993年7月27日众议院的能源和商务委员会批准了5年内提供各州12亿美元的法案,用以资助设计并建造高速线路和信号系统,其中包括了以7500万美元用作高速铁路的研究与发展。据Istea法规认定,到1997年政府将授权为公共交通支付315亿美元。

目前,美国高速铁路速度目标值定为250km/h,与最高速度177km/h的常规铁路相比,对运输安全的要求,将具有本质的差异。作为先期研究,高速铁路运输的安全问题被联邦铁路管理局(FRA)作为首当其冲的任务。

美国运输部在研究的先期阶段,总结了世界各国高速运行经验并结合本国历史情况,已经对高速运输系统的各种类型(包括高速铁路和磁悬浮系统)制定了安全运行的目标与规范,且很可能在今后10~20年中实施。

关于高速铁路碰撞事故及其防止的研究,作为综合安全研究成果的一部分,已于1993年3月由FRA正式出版。该书内容丰富、全面、系统,系高速安全基础研究领域内一套较完整的成果报告。经美国联邦铁路管理局有关部门的同意,铁道部科技司支持立项,我们已将其编译成本书,提供给国内广大读者。

当前正值世界铁路进入新的大发展时期,也是我国铁路从短缺型向适应型转变,实现现代化建设的关键时期。自1989年始,铁道部就着手筹组中国高速铁路系统的可行性论证,“八五”初期,把高速走行技术作为高速列车预研究的先行项目,列为国家重点科技攻关项目。1994年底铁道部成立了京沪高速(预)办公室,并把“高速试验线路”和“高速试验列车”的技术条件和技术规范列为“九·五”国家重点攻关项目。

事实证明,发展高速铁路是解决大通道上大量旅客快速输送问题的最有效途径,已成为世界各国和我国铁路必然的发展趋势。因此及早确定我国的近、远期高速目标值以及提速指标,进而制定保证在该速度下运行的安全指标、标准、规范,并同时拟定运输整体系统、子系统、零部件的安全性评估与检验方法都是至关重要的。

作为系统的安全研究成果之一,本书的出版对我国高速地面运输发展及其安全保障体系研究课题的选择与决策,高速系统安全规范以及安全评估技术与检验方法等的制定,无疑将有很好的借鉴作用。

全书共分四卷

第一卷“碰撞的威胁” 内容包括：①鉴别碰撞事故场景、起因、影响及预防要求；②概述并审评外国高速地面运输系统的安全技术要求，为制定适用于美国的安全规范提供指南；③为选择并综合评估一特定高速地面运输系统的碰撞避免系统和事故幸存性措施制定准则。

第二卷“碰撞避免” 对各种现代化的碰撞避免系统作了详细评述。内容包括：①对用于防止在导轨系统上发生碰撞的列车或车辆控制系统的结构和零部件以及排除导轨障碍的措施作了介绍；②讨论了不同碰撞避免系统的选择与系统能力和运行可靠性的关系；③对用于高速地面运输的碰撞避免系统的选择和评估提出推荐指南。

第三卷“事故幸存性” 对事故幸存性的技术发展水平作了详细评述与论断。内容包括：①用于减轻或控制碰撞后果的车辆结构设计，诸如最低强度要求和能量吸收技术等；②最大限度降低碰撞或其它类型事故伤亡程度的车辆内部设计；③用于评估事故幸存性性能的人员伤亡指标；④评价事故幸存性性能的试验和模拟技术等。

第四卷“建议的安全规范” 制定了碰撞避免和事故幸存性的建议规范。目的在于确保高速运输系统的安全度要相当或优于目前城市间客运铁路提供的安全水平。规范主要以性能为根据，不针对任何一种专门的高速运输系统的技术或系统概念。规范设计允许系统设计者在一定范围内对一专门系统的碰撞避免和事故幸存性性能之间作出折中选择。

本研究虽未包罗高速运输安全的全部问题，但涉及了有关安全方面的主要问题。除可供铁路部门参考外，还适合于公路运输、城市交通、轻轨列车以及综合地面运输部门在规划决策、规程制订时作为参考，供决策、设计、生产、科研、高校及管理运营人员使用。

本书在编译和出版过程中得到美国联邦铁路管理局的协助，尤其是 Director, TED KROHN 和 Dr. N. Thomas Tsai 对本书的出版给予了大力支持，同时得到科技司周翊民、孙利民、赵鸣九、曾会欣等同志的热情支持和指导，在此表示衷心感谢。

本书第一卷由尹振远翻译、陆淳、詹斐生校对；第二卷由余也艺翻译、张锡弟校对；第三卷由詹斐生翻译，余也艺校对；第四卷由余也艺翻译，詹斐生校对。

由于编、译者的水平有限，书中可能有不当和错误，请读者指正。

1995 年 12 月

序 言

近年来,高速导轨地面运输(HSGGT)的重要性已经日益为人们所认识。1991年5月得克萨斯州授与建造连接达拉斯/沃斯堡、圣安东尼奥和休斯敦之间的高速铁路系统的特权,并于1992年1月签订了使用法国TGV技术的详细的特许协议书。1989年6月佛罗里达高速铁路委员会(现为佛罗里达运输部的组成部分)曾建议授权建造连接奥兰多机场和靠近华尔特迪斯尼世界的国际赛车场磁悬浮系统,并在1991年6月为了系统的建设由佛罗里达州签订了使用德国超快TR07技术的特许协议书。1993年2月,美国客运铁路公司(Amtrak)开始在东北走廊线路上试验瑞典的X2000可倾式列车,并在1993年6月~9月在东北走廊线上试验德国城际快速(ICE)列车。作为国家磁悬浮计划的开创部分,1991年为发展由美国设计的一个磁悬浮系统总共签订了四项合同。1991年的互交模式地面运输效益法(Intermodal Surface Transportation Efficiency Act)进一步促进了美国设计的磁悬浮系统的发展。除了目前正在进行的项目以外,对于遍及全国有关新的高速系统以及为既有铁路通道的速度提高已经提出了为数众多的建议。

在比现行速度更高条件下运行的所有建议的系统,其应用的技术与那些用于现有导轨地面运输系统中的技术是不同的。这些不同技术包括先进信号和控制系统,以及适用于全部或大部分HSGGT系统的轻型车体结构。由于技术上的差异以及高速情况下会导致事故多发的后果,都需要确保HSGGT系统对旅行公众和运行员工的安全。

论及碰撞安全的本报告是联邦铁路管理局(FRA)综合研究成果的一部分,是致力于开发高速导轨地面运输管理所必需的技术资料。目前由FRA正在着手研究的作为其高速地面导轨运输安全计划组成部分的其它领域包括:

- 磁悬浮技术安全性评估(电磁的和电动的两个方面)
 - 应急准备指南的制定
 - 电磁场特性
 - 导轨安全性问题
 - 自动化的安全性
 - 人的因素和自动化

碰撞安全包括为防止碰撞所采取的措施,也包括万一发生事故时确保旅客和乘务人员受到保护的措施。本研究成果分别以四卷报告予以阐述,对某一给定HSGGT系统所提供的碰撞安全给出了评估的基准。这些措施必须以一种协调的有效方法同时予以评估。根据本研究的结果,目前对某一推荐系统的碰撞安全的评估工作已列入计划,同时对既有传统系统碰撞安全改进措施的效果作出评估。

简称和术语

许多简称普遍被铁路组织以及高速铁路系统与他们的组成部分所使用。本一览表为在本报告中频繁使用的那些简称提供一个方便的参照。要注意某些简称对所有的用户不具有相同的意义，特别是那些不同列车控制系统用的简称（ATC，ATCS，ATP 等等）。普遍认可的意义如下：

AAR	北美铁道协会
AIS	缩略破坏尺度
ANF	法国铁路装备厂商
APTA	美国公共交通协会
AREA	美国铁路工程协会
ASTREE	连续实时自动化系统（法国车载列车控制系统）
ATB	有关节的全身人体——用于模拟人体动力学的计算机分析规范
ATC	自动列车控制——提供制动和/或其他列车控制功能的自动启动系统。ATP 和 ATO 是 ATC 的子系统。
ATCS	高级列车控制系统——当信号显示未被执行或确认时，保证制动自动激发的系统。通常与机车信号相结合。
ATD	拟人试验装置（假人）
ATO	自动列车运行——从起动到停车自动控制列车运行的系统。通常适用于铁路快速公交运用。
ATCS	先进的列车控制系统——AAR 为开发有增强能力的列车控制系统的专门项目。
ATP	自动列车保护——通常是一个列车驾驶员行为自动监视的综合系统。当不遵守速度限制和信号显示时将触发制动。所有的 ATP 系统同时也是 ATC 系统。
AVE	目前包括马德里和塞维利亚之间一条线路在内的西班牙高速铁路系统
AWS	自动报警系统——用在英国铁路上的简单机车信号和 ATC 系统。
BART	旧金山海湾地区快速公共交通
BN	伯灵顿北方铁路
BR	英国铁路
CFR	联邦法规全书
CPU	中央处理单元（微处理机的芯体单元）
CTC	集中列车控制——由中央位置实施铁路运营监控的系统
DB	德国联邦铁路
DIN	德国国家标准学会
DLR	英国伦敦多克兰斯（Docklands）轻轨铁路
EMD	通用动力公司电气动力部（机车制造厂）

EMI	电磁干扰 通常与由大功率电力牵引系统造成的对信号控制电路的干扰共同使用。
FAA	联邦航空管理局 (美国)
FAR	联邦航空条例
FCC	联邦通讯委员会 (美国)
FEA	有限元分析
FHWA	联邦公路管理局 (美国)
FMEA	故障型式及效应分析
FMVSS	联邦机动车安全标准 (美国)
FNC	Frazer-Nash 咨询公司
FRA	美国运输部联邦铁路管理局
FTA	联邦公共交通管理局
g	重力加速度 $g=9.81\text{m/s}^2$ 或 $g=32.2\text{ft/s}^2$
HA	混合网络分析 (用于碰撞分析)
HIC	头部伤害判据
HSGGT	高速导轨地面运输
HSR	高速铁路
HST	高速列车——英国铁路高速柴油机电传动列车组
HYGE	高加速度滑撬试验设备
ICE	城际快车——为德国联邦铁路开发的高速列车组,由每端一台机车和大约 10 节中间客车组成。
IIT	伊利诺斯理工学院
ISO	国际标准化组织
Intermittet	与 ATC 和 ATO 共同用来描述在离散地点而不是连续地从轨道向列车传输指令的术语。
J	焦耳:公制能量单位,相当于一牛顿力移过一米距离的能量
JNR	日本国家铁路 日本前负责铁路运营的机构,在 1987 年 4 月 1 日被重组为日本铁路 (JR) 集团,由若干地区铁路、一个货运企业和一个新干线持股公司组成。
JR	日本铁路——见 JNR
LCX	漏泄同轴电缆——沿导沟铺设的漏泄同轴电缆可在车辆和地面之间提供高质量的无线电传输。LCX 比空间波无线电更可靠,并可在不能使用空间波的场所如隧道中使用。
LGV	法国新建的高速线。同见 TGV
LMA	集总质量分析
LRC	轻快稳——由加拿大研制的高速倾斜车体柴油电传动列车组
LZB	由德国联邦铁路开发的列车控制和自动列车保护综合系统
Maglev	磁悬浮,通常用来描述一种利用磁性悬浮和导轨的有轨运输系统

目 录

第一卷 碰撞的威胁

第 1 章 背景及前言	(1)
1. 1 总体项目的背景	(1)
1. 2 总体研究工作的目标和范围	(2)
1. 3 本卷的内容	(3)
第 2 章 碰撞场景的拟定	(4)
2. 1 前 言	(4)
2. 2 定 义	(4)
2. 3 碰撞场景	(6)
2. 4 对过去事故的回顾	(10)
2. 4. 1 联邦铁路管理局的事故报告	(10)
2. 4. 2 对美国铁路恶性事故的回顾	(13)
2. 4. 3 国外的事故	(15)
2. 5 碰撞事故和其他事故的原因和后果	(16)
2. 5. 1 在同一轨道上车辆或列车间碰撞的原因和后果	(16)
2. 5. 2 平交公路道口碰撞的原因和后果	(19)
2. 5. 3 与在轨道上的或堵塞轨道的障碍物碰撞的原因和后果	(19)
2. 5. 4 单一列车或车辆事故的原因和后果	(20)
第 3 章 对国外高速地面导轨运输系统安全规章的述评	(22)
3. 1 前 言	(22)
3. 2 碰撞避免	(28)
3. 2. 1 信号和列车控制系统	(28)
1. 前言和小结	(28)
2. 美国的条例、标准和作法	(29)
3. 国外的标准和作法	(30)
4. HSGGT 的特殊作法	(31)
3. 2. 2 地界安全保障	(36)
1. 前言和小结	(36)
2. 美国的条例、标准和作法	(37)
3. 国外的标准和作法	(38)
4. HSGGT 的特殊作法	(38)
3. 2. 3 公铁平交道口	(39)
1. 前言和小结	(39)

2. 美国的条例、标准和作法	(39)
3. 国外的标准和作法	(40)
4. HSGGT 的特殊作法	(40)
3. 2. 4 制动的装置及性能	(40)
1. 前言和小结	(40)
2. 美国的条例、标准和作法	(42)
3. 国外的标准和作法	(42)
4. HSGGT 的特殊作法	(43)
3. 2. 5 运营和维修人员的资格和培训	(46)
1. 前言和小结	(46)
2. 美国的条例、标准和作法	(46)
3. 国外的标准和作法	(46)
4. HSGGT 的特殊作法	(46)
3. 2. 6 操作规程和作法	(47)
1. 前言和小结	(47)
2. 美国的条例、标准和作法	(47)
3. 国外的标准和作法	(48)
4. HSGGT 的特殊要求	(48)
3. 3 事故幸存性	(48)
3. 3. 1 车辆总体结构	(48)
1. 前言和小结	(48)
2. 美国的条例、标准和作法	(49)
3. 国外的标准和作法	(49)
4. HSGGT 的特殊作法	(52)
3. 3. 2 司机室的耐碰撞度和安全	(54)
1. 前言和小结	(54)
2. 美国的条例、标准和作法	(54)
3. 国外的标准和作法	(55)
3. 3. 3 车辆的装备部件和设备	(55)
1. 前言和小结	(55)
2. 美国的条例、标准和作法	(56)
3. 国外的标准和作法	(56)
4. HSGGT 的特殊作法	(56)
3. 3. 4 车辆和机车窗用玻璃的标准	(57)
1. 前言和小结	(57)
2. 美国的条例、标准和作法	(57)
3. 国外的标准和作法	(58)
第 4 章 建议的碰撞避免和事故幸存性准则	(60)
4. 1 前 言	(60)

4. 2 “等效安全”的定义	(60)
4. 3 碰撞避免和事故幸存性指南	(69)
附录 A 美国恶性铁路事故数据	(73)
表 A-1	(74)
表 A-2	(76)
参考文献	(79)

第二卷 碰撞避免

第1章 引言	(80)
1. 1 本卷的目的和概述	(80)
1. 2 碰撞避免的历史沿革	(81)
1. 3 碰撞避免的目前作法和未来发展	(81)
1. 4 报告编制	(82)
第2章 系统运用的碰撞避免特征	(84)
2. 1 引言	(84)
2. 2 进路完整性	(84)
2. 2. 1 列车检测	(84)
2. 2. 2 联锁装置的完整性	(88)
2. 2. 3 进路完整性检查	(92)
2. 3 速度传达	(92)
2. 3. 1 地面信号	(92)
2. 3. 2 机车信号	(93)
2. 3. 3 速度代码传输	(94)
2. 4 超速防护	(95)
2. 4. 1 车上速度控制	(95)
2. 4. 2 超速电路	(97)
2. 5 碰撞避免特征的摘要	(98)
2. 6 系统的体系结构	(98)
第3章 碰撞避免的车辆、导轨和地面设计技术	(106)
3. 1 引言	(106)
3. 2 碰撞避免系统的设计技术	(106)
3. 2. 1 通行权设计	(106)
3. 2. 2 导轨设计	(108)
3. 2. 3 平交道口设计	(110)
3. 2. 4 车辆系统	(112)
3. 3 实施和人的作用	(115)
3. 4 车辆误动作安全系统	(115)

3. 4. 1 地 面	(115)
3. 4. 2 车 载	(116)
3. 5 人在碰撞避免保障中的作用	(116)
3. 5. 1 维修和检验业务	(117)
3. 5. 2 人的行为限制	(117)
3. 5. 3 可预测的侵入	(118)
3. 5. 4 不可预测的侵入	(118)
3. 6 摘 要	(118)
第 4 章 碰撞避免措施对系统运转的影响	(120)
4. 1 引 言	(120)
4. 2 进路完整性措施	(120)
4. 2. 1 列车探测	(120)
4. 2. 2 联锁装置	(124)
4. 2. 3 联锁体系结构	(125)
4. 3 信号方法	(126)
4. 3. 1 点式机车信号系统	(126)
4. 3. 2 连续机车信号系统	(127)
4. 4 ATP 速度实施	(128)
4. 4. 1 车上速度控制	(128)
4. 4. 2 列车制动	(128)
4. 5 导轨设计措施	(131)
4. 5. 1 平面交叉警报装置	(132)
4. 5. 2 侵入和机械故障探测装置	(132)
4. 6 小 结	(132)
第 5 章 碰撞避免评价的建议指南	(133)
5. 1 引 言	(133)
5. 2 碰撞场景述评	(133)
5. 2. 1 第一组: 列车—列车 (同一轨道) 碰撞避免	(133)
5. 2. 2 第二组: 列车—障碍物 (侵入) 碰撞避免	(134)
5. 2. 3 第三组: 列车与不同列车之间的碰撞避免	(135)
5. 2. 4 第四组: 单一列车碰撞避免	(136)
5. 3 HSGGT 系统必要条件的评价	(137)
5. 4 特定技术方法的评价	(137)
5. 4. 1 列车检测、速度传达和实施	(138)
5. 4. 2 联锁、进路和导轨完整性	(139)
5. 4. 3 安全逻辑处理	(139)
5. 4. 4 导轨设计	(140)
5. 4. 5 平交道口设计	(141)
5. 4. 6 车辆系统	(141)

5. 4. 7 侵入保护	(142)
5. 4. 8 导轨终端设计	(142)
5. 5 其他条件	(142)
5. 5. 1 可靠性	(142)
5. 5. 2 可维修性	(143)
5. 5. 3 维修保养	(143)
5. 5. 4 培 训	(143)
5. 6 系统性能的评价	(143)
5. 6. 1 可靠性估价方法	(144)
5. 6. 2 系统评估	(144)
附录 A. 碰撞避免的历史	(148)
附录 B. SELTRAC 系统	(149)
附录 C. 美国安全微处理机联锁	(151)
附录 D. 美国的软件应用	(151)
附录 E. 列车制动机检查和试验	(152)
附录 F. 系统性能评估方法	(153)
附录 G. 美国标准和技术要求	(156)
参考文献	(157)

第三卷 事故幸存性

第 1 章 引 言	(159)
第 2 章 HSGGT 车辆耐碰撞度的基本原理	(161)
2. 1 HSGGT 碰撞条件	(161)
2. 2 车辆耐碰撞度设计	(163)
2. 2. 1 车辆结构	(163)
2. 2. 2 车辆内部	(170)
第 3 章 在车辆碰撞时对人的伤害	(175)
3. 1 背景资料	(175)
3. 2 对冲击损伤的生物力学研究概述	(177)
3. 3 现行人类伤害判据	(181)
3. 4 未来的人类伤害判据研究计划	(183)
第 4 章 车辆耐碰撞度评价技术	(185)
4. 1 实验技术	(185)
4. 1. 1 实物碰撞试验	(185)
4. 1. 2 滑橇试验	(186)
4. 1. 3 部件试验	(187)
4. 2 分析技术	(189)

4. 2. 1 列车组运动学及独立车辆碰撞分析	(191)
4. 2. 2 二次碰撞分析	(200)
第5章 现行旅客运输车辆设计、制造和乘客幸存性评价实施	(205)
5. 1 车辆安全措施的特征	(205)
5. 1. 1 城际旅客车辆和动力车结构	(206)
5. 1. 2 其他运输方式中的车辆结构	(221)
5. 2 车辆内部特性	(231)
5. 2. 1 公交车辆和城际客车内部特性	(231)
5. 2. 2 其他运输方式中的车辆内部	(240)
5. 3 乘客幸存性标准和规程	(242)
第6章 对改善 HSGGT 车辆耐碰撞度设计和评估的建议和指南	(244)
6. 1 整体车辆评价	(244)
6. 2 乘客伤害可能性评估	(246)
6. 3 车辆子系统评价	(247)
6. 4 建议的 HSGGT 车辆耐碰撞度研究和发展计划	(248)
参考文献	(253)

第四卷 建议的安全规范

第1章 引言	(257)
第2章 安全规范的目标、形式和内容	(258)
2. 1 安全规范的目标	(258)
2. 2 规范的形式	(258)
2. 3 安全规范的内容	(259)
第3章 HSGGT 安全规范草案	(262)
3. 1 目标和范围	(262)
3. 2 规范的适用范围	(262)
3. 3 定 义	(262)
3. 3. 1 引言和适用性	(262)
3. 3. 2 定 义	(262)
3. 4 整体系统性能规范（一级）	(264)
3. 4. 1 适用范围	(264)
3. 4. 2 列车乘坐人员的风险总值	(265)
3. 4. 3 事故发生率	(265)
3. 4. 4 雇员事故发生率	(265)
3. 4. 5 关于在场人员的伤亡发生率	(265)
3. 4. 6 与技术要求的一致性	(265)
3. 4. 7 对于 3. 4 节的说明	(266)

3. 5 碰撞避免和事故幸存性能规范 (二级)	(266)
3. 5. 1 概 述	(266)
3. 5. 2 二级性能要求的适用范围	(266)
3. 5. 3 低速碰撞幸存性	(266)
3. 5. 4 中速碰撞幸存性	(267)
3. 5. 5 高速碰撞避免	(268)
3. 5. 6 非常高速的碰撞	(268)
3. 6 各种子系统和零部件的规范 (三级)	(269)
3. 6. 1 引言说明	(269)
3. 6. 2 碰撞避免	(269)
3. 6. 3 事故幸存性	(276)
第 4 章 系统安全性分析方法学	(282)
4. 1 引 言	(282)
4. 2 故障树分析	(282)
4. 3 绝对定量风险分析	(285)
4. 4 比较定量风险分析	(287)
4. 5 初级危害性分析	(288)

第一卷 碰撞的威胁

第 1 章 背景及前言

1. 1 总体项目的背景

在美国,对高速地面导轨运输系统(HSGGT)用于城市间主要客运通道的兴趣越来越浓。HSGGT 系统既可以采用轮-轨式铁路的先进技术,也可以采用磁悬浮技术。拟采用的最高运营速度在 250~500km/h 范围内。这一速度范围超过了美国当今常规铁路一般所允许的最高为 177km/h 的通过。正在进行的项目包括得克萨斯州的达拉斯到休斯敦走廊对法国 TGV 技术的应用、在佛罗里达州奥克兰对德国超快磁悬浮技术的论证、以及在波士顿至华盛顿之间东北走廊上对更高速度和可倾式列车技术的应用。

联邦铁路管理局(FRA)与这些开发项目紧密相关。按照 1988 年铁路安全改进法的规定,联邦铁路管理局负责确保美国境内所有 HSGGT 系统运营的安全。该法定义的铁路包括了“全部在钢轨上或在电磁导轨上行驶的非公路地面运输的形式”。因此也就确认了联邦铁路管理局对轮-轨系统和磁悬浮的 HSGGT 系统的责任。联邦铁路管理局还协同其他联邦政府和州政府的一些单位一起积极参与了国家磁悬浮初创阶段的磁悬浮技术研究,并正在进行 HSGGT 系统其他各种技术的和经济的研究。

就安全方面,美国联邦铁路管理局在沃尔匹国家运输系统中心(Volpe National Transportation Systems Center)的支持下,正在对 HSGGT 系统安全的诸多问题进行一系列的研究工作。这些研究的总目的是要识别与各种类型 HSGGT 系统有关的安全担忧并提出正确的回答。研究结果将会有助于联邦铁路管理局确保 HSGGT 系统的旅客和职员安全。同时,HSGGT 系统的研制人员也会从明确的安全要求应用中受益,以用来指导系统的设计、施工和运营。

HSGGT 系统和美国常规的铁路运营系统之间存在着差异,这是安全关注的一个方面。HSGGT 系统除最高速度更高之外,它的开发可能是采用那些不同于美国适用的技术要求,或者包含了不在美国常规铁路系统上使用的技术。因为技术上的差异可能有许多适用于美国常规铁路的安全要求(如条例、标准和作法等)不一定能完全满足 HSGGT 安全保障的要求。现行安全要求可能有必要重新制定或加以修正的方面将包括:

- 现行的铁路安全要求中只适用于最高速度 177km/h。从纽约到华盛顿东北走廊的个别区段在废止现行条例的条件下,允许达到 200km/h 的较高速度,但并非正规的作法。对于超过 200km/h 的速度,尚无安全技术要求。

- 许多现行的安全要求适用于设计而并非适用于性能。设计要求一般只规定荷载、尺寸以及设计或制造某一特殊零部件所用的材料,因此只适用于一种技术或一种系统概念。设计技术要求具有易验证其一致性的优点,但难以或不可能转用到其他技术方面。许多 HSGGT 子系统和部件的技术与常规铁路技术相比具有极大的差异,与现行的设计要求不可能兼容。

- 美国拟应用的 HSGGT 系统之系统安全概念(原理)与美国常规铁路作法之间存在着明显的差异,应用由常规铁路演变而来的安全技术要求可能会多余地带来限制,或者可能会无法保证足够安全度。

现行铁路安全要求的局限性意味着需要制定 HSGGT 系统的新的安全规定,既要保证系统具有足够的安全性能,又要保证不会过多地束缚新技术的应用。本报告根据 FRA 正在进行的与 HSGGT 系统安全技术要求相应的若干研究,介绍了其中之一的结果。

研究的要点是要讨论在 HSGGT 系统中所采用的措施对避免碰撞的充分程度,以及这些措施对 HSGGT 车辆乘客抵御碰撞或其他形式事故后果的充分程度。尤其是本研究讨论了规定和评价 HSGGT 碰撞避免和事故幸存性的共同方法,以使确保总系统的安全性能要求得到全面满足。

“碰撞避免”术语包罗了 HSGGT 系统用来防御车辆或列车间碰撞、车辆与轨道上障碍物间碰撞以及与抛向或射向车辆的物体撞击的全部子系统。“避免”尤其要包括列车或车辆控制系统的性能。“事故幸存性”术语包含了用来使事故(一旦发生)后果的严重程度降到最低的 HSGGT 系统特征;“幸存性”尤其要包含车辆和车辆内部装设的耐碰撞度特性。

联邦铁路管理局的总目标是确保 HSGGT 系统的安全性能至少要与常规铁路系统相仿。为了制定有关碰撞避免和事故幸存性的安全规范和指南,联邦铁路管理局已采取了四步逼近法(详见第 1.2 节)。本研究的主要成果就是产生了一个以性能为基础的安全规范,将规范应用于 HSGGT 系统后,则会保证联邦铁路管理局的系统安全目标得以实现。这一规范原则上可以应用于任何高速地面导轨运输系统,这就克服了许多现行安全要求以特定技术为属性的障碍。规范的起草过程强调了对系统安全性能要求的开发,同时也强调了对各个部件的安全性能要求,使 HSGGT 系统的设计者能在碰撞避免和事故幸存性之间取得最佳的成本效益平衡。

1. 2 总体研究工作的目标和范围

本研究的总目标是制定适用于 HSGGT 的碰撞避免和事故幸存性规范。规范应尽可能以性能为基础,而不专门针对任何一种 HSGGT 系统的技术,并允许采用各种方案来衡量装在某一特定 HSGGT 系统中的碰撞避免系统和事故幸存性系统两方面的有效程度。规范必须确保 HSGGT 系统的安全度至少要相当于或超出在现行安全条例、标准和作法下运行的城市间客运铁路系统。规范是按下列四步工作大纲制定的。

1. 对碰撞威胁的评估。这一评估包括识别需予以保护的碰撞场景及其成因和后果,审议和总结国外 HSGGT 的安全要求,以便为制定在美国适用的安全要求提供指南,并制定适用于选择和共同评估加在某一特定 HSGGT 系统中的碰撞避免系统和事故幸存性措施的指南。评估的结果包括在本报告的第一卷中。

2. 对碰撞避免技术发展水平的详细述评。述评包括在导轨系统上用来防止碰撞的列车或车辆控制系统体系结构和细节的描述、以及保护导轨不出现阻塞的措施,然后讨论了各种不同碰撞避免系统选择对系统能力和操作可靠性影响的结论。最后,对评估和选择适用于 HSGGT 系统的碰撞避免系统提出了建议指南。其评述的结果包括在本报告的第二卷中。

3. 对事故幸存性技术发展水平的详细述评。述评包括:为减轻或控制碰撞效应而使用的车辆结构设计实施,例如最低限度的强度要求和能量吸收技术等,为最大限度降低碰撞或其他类型事故的伤害的车辆内部装设设计,用来评价事故幸存性的人类伤害判据,以及关于事故幸存性评估的试验和模拟技术。述评最后以适用于 HSGGT 车辆结构和内部装设设计的事事故幸存性实施指南,以及用模拟和试验手段评价车辆事故幸存性的指南来结束。述评的结果包括在本报告的第三卷中。