

# 第 1 章 绪 论

到 2017 年年底，我国高速铁路运营里程达到 2.5 万千米，居世界第一，占世界高速铁路总里程的 65% 以上。我国高速铁路与其他铁路共同构成了快速客运网，形成了“四纵四横”高速铁路网络，而世界上其他国家地区高速铁路基本上是单线运行。特别是随着“复兴号”的运行，我国高速铁路进入了新的发展时期。2016 年 7 月，中国发布了《中长期铁路网规划》，勾画了新时期“八纵八横”和“四大跨国干线”高速铁路网络。到 2020 年，我国高铁运营里程将达到 5 万千米以上，连接所有省会城市和 50 万人口以上城市，覆盖全国 90% 以上人口，实现“人便其行、货畅其流”的目标。但高速铁路在快速发展的同时，安全问题也越来越引起大家的关注，特别是自然环境复杂背景下的高速铁路安全运营问题。

我国地域辽阔，地形地质复杂，气候类型多样，致使自然灾害较为严重，灾害的种类多，发生频率高，且分布地域广。特别是横风、暴雨、地震、泥石流、温度、雷电等灾害一直是影响我国高速铁路行车安全的重要因素，基本上凡有高速铁路经过的地方均受不同程度的自然灾害侵袭，且往往在一种诱发因素作用下形成群发性的灾情。自然灾害平均每年造成铁路运输中断 100 余次，累计 1 000 ~ 2 000 h，最高峰曾达到年断道 211 次。如我国西北地区，高速铁路运营面临横风和沙尘暴问题；东北地区，高速铁路运营面对暴雪问题；西南地区，高速铁路运营面临泥石流问题；东南地区，高速铁路运营面临暴雨问题等。图 1.1 显示了从 2009 年至 2015 年铁路交通事故 10 亿吨公里事故率的变化趋势。

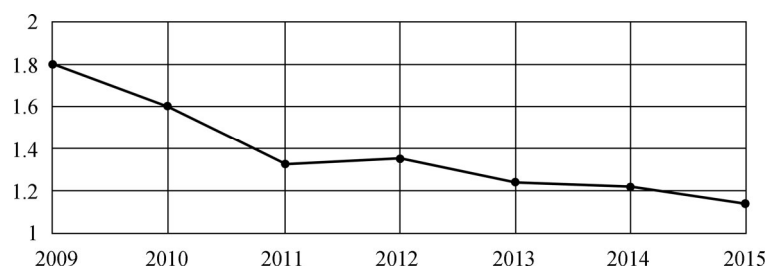


图 1.1 2009 年至 2015 年铁路交通事故 10 亿吨公里事故率趋势图

随着高速铁路运营速度的不断提高，发车密度不断加大，除了要求机车车辆、线路、供电以及通信信号设备等可靠性高外，还要对各种可能发生的自然灾害（横风、暴雨、地震、泥石流、雷电、温度等）事故以及设备故障等进行全面有效的预警和监测，这样才能保证高速铁路的安全运营。

目前，各种自然灾害给我国铁路部门造成了巨大损失，也对高速铁路安全、正点运行构成了极大的威胁。例如，2011 年 7 月 23 日，雷击造成温州南站附近沿线铁路牵引供电接触网故障，由北京南站开往福州站的 D301 次动车组与由杭州站开往福州南站的 D3115 次动车组列车发生追尾事故，造成 40 人死亡，约 200 人受伤。2014 年 5 月 13 日，因受暴雨灾害影响，广州南站至深圳北站区段内发生泥石流灾害，导致该区段内动车组列车停运约 9 h。2015 年 5 月 31 日，因风灾导致供电网接触网停电，哈尔滨至大连高铁沈阳至大连区段内 10 多趟高铁列车不能正常通行。由此可见，自然灾害给高速铁路的安全运营造成了很大危害。

## 1.1 研究背景

由于高速铁路上列车运营速度极快，一旦遇上灾害环境，就极易发生特大交通事故。特别是在近几年来自然灾害频繁出现的情况下，随之而来的高速铁路安全问题也日益突出，灾害环境诱导的交通事故已造成了严重的社会影响和经济损失。因此，如何应用交通工程理论及现代科学技术，在现有铁路系统的基础上，通过对灾害环境下高速铁路安全的风险界定、预警监测和应急管理的研究，提高高速铁路安全管理水平，

减少交通事故，几乎是所有国家面临的重要问题。

自然灾害引发的高速铁路安全风险主要是极端天气，如暴雨、大风、地震、沙尘、冰雹、雷电和大雾等。因此，自然灾害环境下高速铁路安全的风险界定与应急管理研究是指通过对过去已经发生自然灾害环境下高速铁路事故的资料进行统计分析和处理提炼，结合现场模拟实验，掌握各种自然灾害影响下各类事故发生的作用机理，发展变化规律，在此基础上，建立科学评估系统，然后根据评估模型以及实时现状对还不明确的事故预先做出合乎逻辑的推断，进而根据危害程度进行及时的超前预测、预报，并定出相应的预警级别，最后依据预警级别提出相应的管理措施。

因此，本书针对自然灾害环境下高速铁路安全运营的现状和宏观态势进行深入探讨，研究各类交通事故发生与各种灾害环境类型、强度、特征之间的相互关联度，建立自然灾害环境下高速铁路安全的风险界定与应急管理测定的理论体系，以提高高速铁路安全运营评估和预警能力，找准症结对症下药，变交通安全管理的被动防范为主动预防，并逐步形成有序运行与交通安全之间的互动机制，实现高速铁路安全有序、快捷方便、经济合理的可持续发展目标。

## 1.2 国外高速铁路自然灾害预警系统

高速铁路安全运营的自然灾害预警系统是保证高速铁路行车安全的主要系统。自然灾害预警系统对危及高速列车运行安全的自然灾害（风、雨、雪、地震、地质、温度等）、异物侵限以及突发事件等进行实时监测，采集和汇总各类监测设备的监测信息，实现监测信息的分布获取、集中管理、综合运用，全面掌握灾害动态，提供及时准确的灾害报警和预警功能。自然灾害预警系统依据灾害严重程度立即采取相应的紧急处置措施，防止或减轻因灾害引发的损失，避免次生灾害，并为调整运行计划，下达行车管制、抢险救援、维修等工作提供数据基础依据，是现代化铁路运输系统中不可缺少的重要技术保障。

高速铁路列车运行的安全性，是世界各国铁路部门特别重视的问题。以日本、法国、德国等国家为代表的高速铁路，一直把确保旅客生命财

产和行车安全放在首位，把安全技术作为高速铁路的先导型核心技术加以系统研究。这些国家均在高速铁路建设的先期就开始规划并建设针对自然灾害的监测系统，并针对其所处的自然环境、地理条件以及运营条件的不同，分别采取了各自不同的安全保障措施，并通过实际运用不断完善和提高，以防止或减轻自然灾害或突发事件对高速铁路行车安全的危害。

### 1.2.1 日本高速铁路的自然灾害预警系统

日本是一个台风、暴雨、地震、滑坡及大雪等自然灾害频繁发生的国家，铁路经常遭受自然灾害的侵袭。据统计，日本铁路大约有 1/3 的行车事故是由各类自然灾害引发的。自然灾害严重威胁着日本高速铁路的行车安全，特别是其引发的次生灾害（也称二次灾害）不但导致重大行车事故，而且造成了重大的经济损失。因此，日本铁路部门非常重视对自然灾害的研究、防治工作，自新干线建成运营以来，经过 50 余年的不断研究和开发，已经从简单的观测、报警、防护等逐步构建形成一整套完善的自然灾害预测系统，可对地震、强风、暴雨和大雪等自然灾害进行检测，确保日本铁路的安全运营。按照灾害信息的种类和系统功能划分，日本铁路的自然灾害监测系统分为自然灾害预测系统和自然灾害检测系统。日本自然灾害预测系统是根据监测数据对灾害发生的可能性进行预测，通过采取灾害前的预警措施和行车规定，保障行车安全；日本自然灾害检测系统是针对已经发生的灾害，通过检测判断，阻止列车进入灾害区段，避免次生灾害的发生。日本铁路还制定了灾害情况下相应的行车安全规则，以降低灾害对行车的影响，并已研究开发了很多针对不同自然灾害的自动监控系统，如地震紧急检测报警系统、防灾管理控制系统、气象信息系统、河流信息系统、轨温监测系统等<sup>[1-3]</sup>。

目前，日本新干线采用的是综合自然灾害监测系统（见图 1.2），它是通过设置在沿线的雨量计、风向风速仪、水位计和相应地点的地震仪等观测装置和落石、滑坡、泥石流等沿线灾害检测装置，以及轨温及异物入侵检测设备，基础设施、大型建筑物和车站灾害监测设备，沿线防护开关和防护电话等，将沿线的各类灾害信息全部送到中央调度控制室

并严密监视线路的状态，一旦发生灾害，系统自动发出警报，阻止列车运行，确保新干线行车安全。

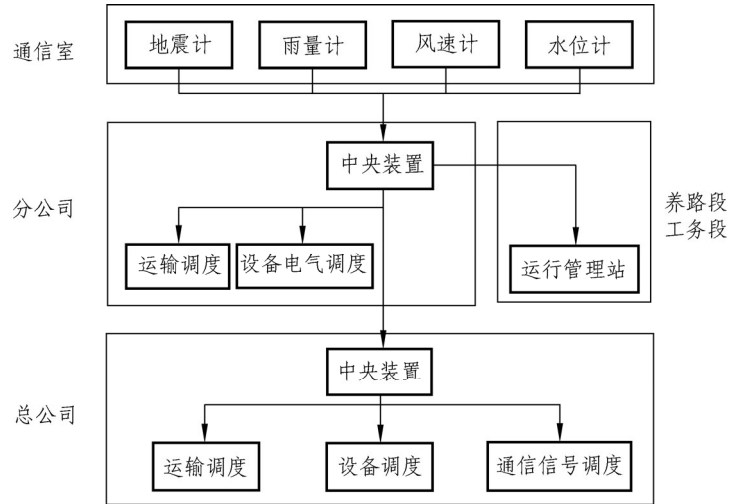


图 1.2 北海道综合防灾信息系统结构示意图

日本防灾信息系统采用自动控制、自动监测、自动检测、自动报警及卫星通信、数据通信、微机处理等先进技术，使得新干线的防灾能力有了很大提高。所以，日本新干线运行 50 多年来，事故率极低。日本高速铁路系统不仅从技术上对设备本身状态和自然灾害进行实时监测，设置保证安全的防护工程，建立严格的管理体制，制定严密的异常状况下的列车运行管理规则，还制定和颁布了保证高速铁路安全运营的国家法律。事实证明，日本铁路采用的自然灾害监测系统效果十分明显，铁路行车事故大大降低，基本上能够控制次生灾害的发生。

### 1.2.2 法国高速铁路的自然灾害预警系统

法国地中海高速铁路为有砟轨道结构，运营速度达到 300 ~ 320 km/h，其自然灾害预警系统中心设在马赛，沿线设置大风、地震、异物侵限和防护开关等安全防灾监测设备，通过法国国家铁路的通信网络将监测点和监控中心相连。在法国列车自动控制系统( ATC ,Automatic

Train Control) 中, 除完成速度自动控制外, 还增加了设备状态和自然环境检测、报警子系统, 进一步强化了列车安全运行的保障功能。

法国自然灾害监测系统包括列车自动检测(轮轴不转或防滑系统双重故障, 万向节的失衡和断裂, 转向架的稳定性能检测)、接触网电压检测、热轴检测、降雨监测、降雪监测、大风监测、立交桥下落物监测等7个子系统装置。法国高速铁路沿线设有防护开关和应急电话, 还和国家地震局在地中海线设置了地震监测系统。法国铁路和国家地震局在地中海沿线联合设置了24个无人值守地震监测站。监测站间拥有光缆和卫星两套通信系统, 保证信息可靠传输, 同时监测系统(见图1.3)还连接到法国国家地震验证中心<sup>[4-5]</sup>。地震监测系统由铁路出资、使用, 国家地震局设计、建造。地震发生后的强度级别确认及灾后救援由国家地震局验证中心和法国铁路共同进行。

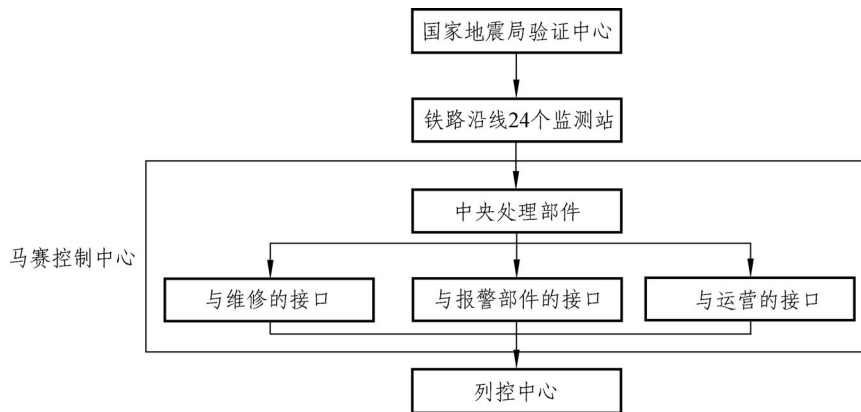


图 1.3 法国地中海线地震预警系统

### 1.2.3 德国高速铁路的自然灾害预警系统

德国高速铁路不同于日本、法国两国的高速铁路, 德国高速铁路属客、货混运型, 且隧道约占线路总长的 1/3, 因此, 隧道内的行车安全成为其安全保障的重点。德国高速铁路制定了严格有效的防范措施。例如, 禁止无加固和防护措施的货物列车或装有危险货物的列车驶入隧道; 尽可能减少客、货列车在隧道内交会, 并要求限速运行; 专门制造了两列隧道救援列车, 随车带有医疗卫生救助设备, 并同地方政府共同组织

消防、救援队，当出现意外事故时，能及时进行救援。

德国高速铁路也采用了新型防灾报警系统(见图 1.4)，除可监督线路装备的运用状况外，还可识别和及时报告环境对行车安全的影响，以及移动设备发生破损的情况。该报警系统在全线南、北、中段设有中央控制单元，相互连通；每个中央控制单元又连接若干设在沿线总站信号楼内的各种报警和记录单元，并与之进行信息和命令交换。记录单元接受安装在沿线的探测报警仪器采集的信息。这些探测报警仪器主要有：热轴探测器、隧道气流报警设备(在长度大于 1.5 km 的隧道内安装)、风测量仪(在所有桥梁上安装)、火灾报警仪、道岔加热设备、沿线设置防护开关、隧道口坍方报警仪。隧道两端及隧道内每 1 000 m 设置应急电话，仅需扳动手柄就可打开电话箱，紧急呼叫的信息具有绝对优先权<sup>[6-8]</sup>。

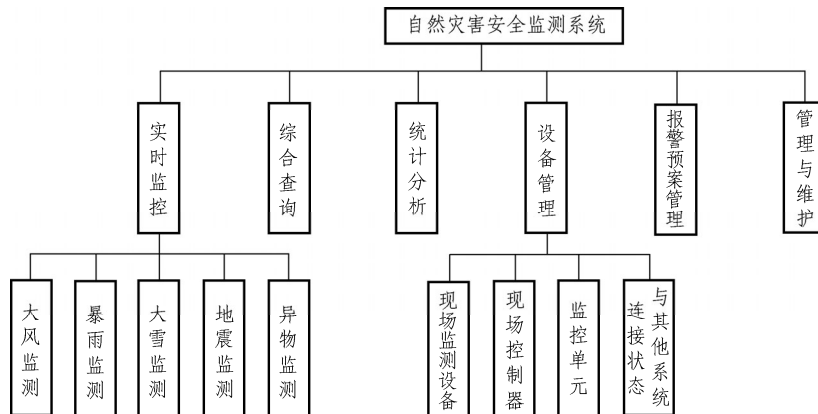


图 1.4 德国高速铁路防灾预警系统

### 1.3 我国高速铁路的自然灾害预警系统

我国国土面积辽阔，地区自然条件差异较大，自然灾害呈现种类多、频率高、区域性和季节性强等特点。高速铁路具有跨区域的特点，各种自然灾害都可能对高速铁路运输造成不利影响。自然灾害对我国高速铁路的主要影响有：

(1) 气象灾害对高速铁路的影响：我国春季西北地区的沙尘暴及新疆地区的大风、夏季东南沿海地区的台风、冬季北方地区的冰雪等对高

速铁路运输带来不便。

(2) 地质灾害对高速铁路的影响：我国西南地区地质结构复杂，容易产生塌方、泥石流等，影响高速铁路安全运营。

(3) 地震灾害对高速铁路的影响：我国部分地区地震灾害呈活跃趋势，而且突发性和破坏性极强，防范难度较大，因此对高速铁路的安全运营带来很大不便。

我国高速铁路自然灾害监测系统由风、雨、雪以及异物入侵等现场监测设备，沿线 GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railway) 基站设置的现场监控单元、各站监控数据处理设备、各站综合工区工务值班室工务终端、各站调度所设备以及传输网络等组成。其中风、雨监测设备由风向风速仪、雨量计及相应的采集传输单元组成，异物侵限监测设备由双电网传感器和轨旁控制器以及异物监测模块组成。高密度的监测点提高了高速铁路自然灾害监测系统的可靠性，是保障我国高速铁路系统安全运行的重要技术手段。

### 1.3.1 自然灾害的预警系统

高速铁路自然灾害预警系统由防灾安全管理和客运专线防灾安全监控两级系统构成，并与调度指挥、应急救援、行车安全监控、客运服务、综合维修、牵引供电、列车控制、中国气象科学数据共享服务网和国家强震监测网等相关系统进行信息交换和共享。高速铁路自然灾害预警系统总体结构如图 1.5 所示。

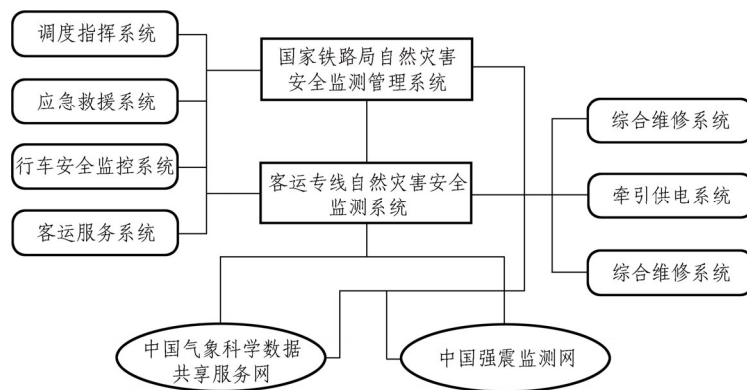




图 1.5 高速铁路自然灾害预警系统

我国高速铁路自然灾害预警系统充分利用铁路既有计算机网络通道资源，自然灾害监测系统总体联网结构如图 1.6 所示。

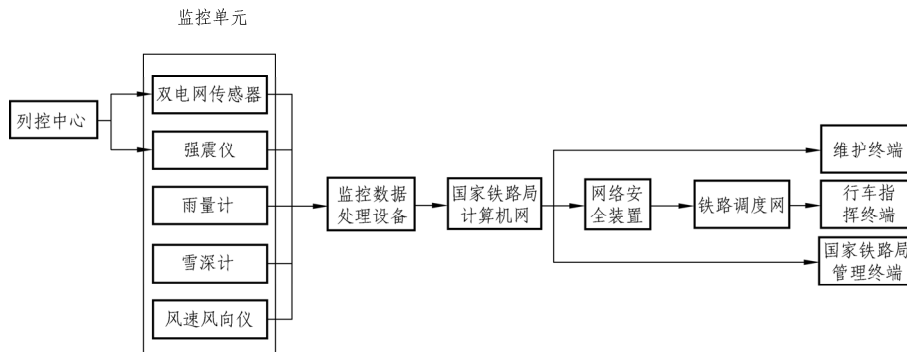


图 1.6 高速铁路自然灾害预警系统结构

由图 1.6 可知，我国高速铁路自然灾害预警系统工作过程如下：

(1) 风、雨、雪、地震及异物等入侵现场监测点经由相邻 GSM-R 基站、车站通信机械室通过 2 Mb/s 专线通道接入铁路计算机网络，实现与交通运输部和客运专线公司的网络连通。

(2) 交通运输部防灾安全管理系统和客运专线自然灾害监测系统分别接入本地生产局域网。

(3) 中国气象科学数据共享服务网和国家强震监测网通过 Internet 接入铁路安全信息平台，实现与交通运输部和客运专线公司的网络连通。

### 1.3.2 自然灾害的预警功能

交通运输部灾害安全管理系统构建全路防灾安全管理统一平台，提供灾害安全的宏观管理、信息共享、决策支持分析等。主要功能包括：全路监测网布局、报警阈值设定、紧急处置措施、监测设备选型、运用情况和应急预案管理等，提供相关基础数据和监测数据等，并掌握灾害监测报警和设备运用状态，对各客运专线自然灾害监测系统的运行情况进行监督和指导，通过对全线路灾害监测数据的分析，为铁路自然灾害监测系统建设提供决策支持服务。高速铁路自然灾害预警系

统功能如图 1.7 所示。

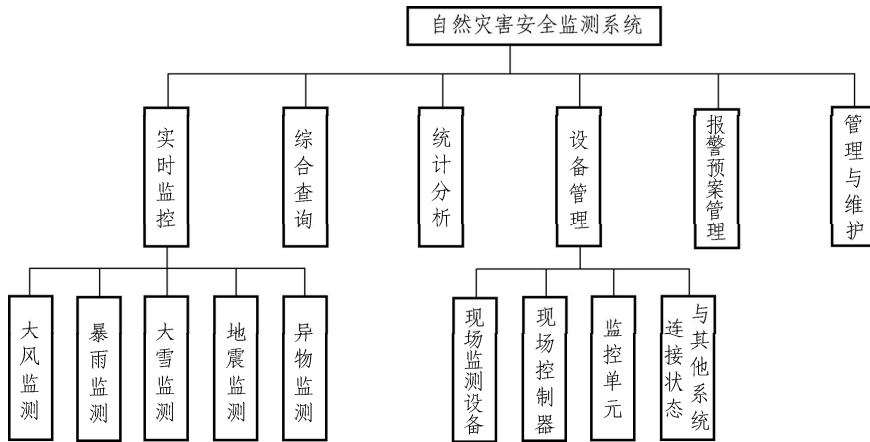


图 1.7 高速铁路自然灾害预警系统功能

高速铁路自然灾害预警系统由沿线现场监测点（风、雨、雪、地震灾害及异物入侵监测设备）、监控单元、监控中心和相关系统接口等 4 部分构成，提供自然灾害及突发事件的实时监控、报警和预警功能，实现灾害报警紧急处置，最大限度地减少因灾害导致的损失，防止次生灾害发生。

#### 1.4 主要预警内容

我国自然灾害种类多，但对高速铁路安全运营影响最大的自然灾害有：横风、雷电、地震、地质、温度、暴雨等。因此，自然灾害下，要保证高速铁路行车安全运营，就必须对自然灾害进行风险识别和预警管理研究。本书在总结横风、雷电、地震、地质、温度、暴雨等自然灾害发生机理的基础上，通过研究国内外高速铁路安全运营监控系统，提出了一套适合我国高速铁路的自然灾害预警系统。该预警系统能够在自然灾害发生之前，提前对高速铁路采取控车模式，控制列车减速或者停车，降低灾害损失，实现实时监控与预警。该预警系统在获取自然灾害数据之后，对数据进行分析，获取灾害安全风险阈值，