

高速列车智能自主定位 模型与在线学习算法

—— 基于应答器实测数据的机器学习

GAOSU LIECHE ZHINENG ZIZHU DINGWEI
MOXING YU ZAIXIAN XUEXI SUANFA

◎ 陈德旺 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.cn>

高速列车智能自主定位 模型与在线学习算法

——基于应答器实测数据的机器学习

陈德旺 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

高速列车智能自主定位模型与在线学习算法：基于应答器实测数据的机器学习 / 陈德旺著. —北京：北京交通大学出版社，2015. 12

ISBN 978-7-5121-2487-5

I. ① 高… II. ① 陈… III. ① 高速列车-定位控制-机器学习-研究 IV. ① U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 310772 号

策划编辑：吴嫦娥 责任编辑：赵彩云 助理编辑：刘蕊
出版发行：北京交通大学出版社 电话：010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>
地 址：北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编：100044
印 刷 者：北京艺堂印刷有限公司
经 销：全国新华书店
开 本：185 mm×260 mm 印张：9.5 字数：237 千字
版 次：2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷
书 号：ISBN 978-7-5121-2487-5/U·218
印 数：1~800 册 定价：39.00 元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。
投诉电话：010-51686043, 51686008; 传真：010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。



前言

近五年是中国高速铁路的快速发展期，截至 2014 年年底，中国运营高铁 11 132 km，名列世界第一。先进的列车运行控制系统对于提高高铁的运行安全和效率，具有重要的意义，而定位技术是核心技术之一。传统的列车定位技术包括轨道电路和速度传感器等，存在累积误差大、自学习能力和自主定位能力不足等。随着计算智能和机器学习等智能技术的发展，列车定位技术将向智能自主定位的方向发展。

针对提高列车定位系统定位精度和智能性，我们团队开展了为期 5 年的研究，共发表相关论文约 20 篇，其中，比较著名的 SCI 期刊有 *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*、*Applied Soft Computing*；EI 期刊有《铁道学报》和《中国铁道科学》等。在该领域，我指导毕业的研究生约 10 名，本书部分内容取自我们团队公开发表的论文和研究生学位论文。

本书利用武广高铁、京沪高铁和郑西高铁的大量实测数据开展研究，采用计算智能和机器学习等理论和方法，研究了基于 BP、RBF、ANFIS、LSM、SVM 和 LSSVM 的几种比较典型的高速列车定位模型，尤其是基于应答器信息的模型参数在线学习算法，以提高列车定位精度和在线学习能力。最后，开发了高速列车智能定位软件，实现了相关的定位算法，并做了大量的比较和分析。

本书共有 10 章，分别为概述、高速列车运行控制系统、高速列车定位系统与关键技术、利用应答器数据的列车位置计算模型、基于 SVM 的高速列车智能定位模型与学习算法、基于 SVM 的高速列车智能定位软件开发、基于神经网络的高速列车定位模型与学习算法、基于神经网络的高速列车定位软件开发、各种智能模型的综合比较、总结与展望。

饮水思源，本书的完成要感谢轨道交通控制与安全国家重点实验室的自主重点课题（RSC2014ZZ02）、北京市自然科学基金项目（4142044）和北京市科技新星项目（2010B015）的支持。感谢澳门大学 IEEE Fellow C.L. Philip Chen 教授在神经网络方面给予的指导和美国 IUPUI 大学 Li Lingxi 教授在支持向量机方面所给予的帮助。我还要感谢我的研究生程瑞军、

王丽娟、韩晓婕和杨绚，他们和我一起投入了大量的时间进行数据整理、理论研究和反复修改，才终于完成这本专著。

本书在写作过程中参考了很多国内外优秀学者的研究成果，由于写作时间较紧，如有标注不到之处恳请谅解。由于我们研究水平有限，书中出现的错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

2014年12月我入选了福建省“闽江学者”计划，2015年4月正式调动到福州大学工作。在福州大学数学与计算机学院工作期间，我对书稿又做了一些修改和完善。特此感谢闽江学者启动项目资助（510146）和工信部信息技术应用“倍增计划”（工业网络控制系统在轨道交通行业（轨道系统）的应用示范）项目的支持。在下一个5年，我们将继续完善相关研究，结合卫星定位等技术，推出本书的第2版，为高速列车智能自主定位略尽微薄之力。

陈德旺

初稿完成于北京交通大学思源楼 1003 办公室

（轨道交通控制与安全国家重点实验室）

修改稿完成于福州大学数学与计算机学院 312 办公室

（福建省网络计算与智能信息处理重点实验室）



1 概述	1
1.1 高速铁路的发展	1
1.1.1 世界高铁发展现状	1
1.1.2 国内高铁发展技术简介	1
1.2 高速列车的发展	5
1.3 高速列车定位技术的发展	9
1.4 本书的结构	10
参考文献	11
2 高速列车运行控制系统	12
2.1 欧洲的高速列车控制系统	12
2.2 日本的高速列车控制系统	14
2.3 中国的高速列车控制系统	16
2.4 高速列车定位系统的关键技术	18
2.4.1 地-车信息传输	18
2.4.2 列车测速与定位	20
2.5 本章小结	23
参考文献	23
3 高速列车定位系统与关键技术	25
3.1 高速列车定位系统	25
3.2 测速定位系统	26
3.3 卫星定位技术	29
3.4 应答器定位	31
3.5 本章小结	32
参考文献	33
4 利用应答器数据的列车位置计算模型	34
4.1 CTCS-3 级列控系统介绍	34
4.1.1 无线闭塞中心	35
4.1.2 铁路综合数字移动通信系统	38
4.1.3 车载设备	39

4.2 高速列车位置计算模型	42
4.2.1 无线消息	42
4.2.2 建立列车位置计算模型	43
4.3 数据预处理及评价指标	46
4.3.1 数据预处理	46
4.3.2 评价指标	47
4.4 基于速度平均法的位置计算算法	48
4.5 本章小结	49
参考文献	49
5 基于 SVM 的高速列车智能定位模型与学习算法	51
5.1 基于最小二乘法的位置计算算法	51
5.1.1 最小二乘法的创立	51
5.1.2 最小二乘法的原理	53
5.1.3 最小二乘法位置计算模型	54
5.2 基于支持向量机的位置计算算法	55
5.2.1 支持向量机简介	55
5.2.2 支持向量机的优点	56
5.2.3 支持向量回归机	56
5.2.4 支持向量机位置计算模型	61
5.3 基于最小二乘支持向量机的位置计算算法	62
5.3.1 最小二乘支持向量机简介	62
5.3.2 最小二乘支持向量机位置计算模型	65
5.4 在线学习策略	66
5.5 本章小结	68
参考文献	68
6 基于 SVM 的高速列车智能定位软件开发	70
6.1 图形用户界面 GUI 介绍	70
6.2 软件总体设计	71
6.3 软件模块设计	71
6.4 软件操作步骤	73
6.5 武广高铁数据集分析	79
6.6 本章小结	83
参考文献	83
7 基于神经网络的高速列车定位模型与学习算法	84
7.1 京沪高铁与数据集介绍	84
7.2 BP 神经网络模型	86

7.3	RBF 神经网络模型	88
7.4	ANFIS 神经网络模型	90
7.5	各定位模型比较与在线学习算法	91
7.5.1	训练集结果分析与对比	91
7.5.2	验证集结果分析与对比	93
7.5.3	验证集参数在线学习方法与非在线学习方法分析与对比	95
7.6	本章小结	99
	参考文献	99
8	基于神经网络的高速列车定位软件开发	101
8.1	软件架构与总体设计	102
8.2	数据载入模块	102
8.3	数据处理模块	102
8.4	结果显示模块	102
8.5	软件应用	103
8.5.1	软件数据准备	103
8.5.2	软件操作步骤	104
8.6	本章小结	110
	参考文献	111
9	各种智能定位模型的综合比较	112
9.1	6 种智能定位模型的复杂度分析	112
9.2	无在线学习的比较	112
9.2.1	京沪高铁数据集的分析	112
9.2.2	武广高铁数据集的分析	119
9.2.3	郑西高铁数据集的分析	125
9.3	两种在线学习策略的比较	132
9.3.1	京沪高铁数据集在线学习方法分析	132
9.3.2	武广高铁数据集在线学习方法分析	135
9.3.3	郑西高铁数据集在线学习方法分析	138
9.4	本章小结	140
10	总结与展望	141
10.1	总结	141
10.2	展望	141



1 概述

1.1 高速铁路的发展

1.1.1 世界高铁发展现状

根据国际铁路联盟 2014 年 9 月 1 日发布的统计报告,世界有运营、在建和规划高铁的国家和地区 22 个,运营高铁 22 954 km,在建高铁 12 754 km,计划建设高铁 4 459 km,远期规划高铁 14 382 km,总计 54 550 km^[1]。

欧洲运营高铁 7 351 km,在建高铁 2 929 km,计划建设高铁 3 200 km,预期规划高铁 7 615 km,总计 21 095 km。欧洲部分国家的高铁发展情况如下:法国运营高铁 2 036 km,在建高铁 757 km,计划建设高铁 50 km,远期规划高铁 2 357 km,共计 5 200 km;德国运营高铁 1 352 km,在建高铁 466 km,远期规划高铁 324 km,共计 2 142 km;意大利运营高铁 923 km,在建高铁 125 km,远期规划高铁 221 km,共计 1 269 km;俄罗斯计划建设高铁 3 150 km;西班牙运营高铁 2 515 km,在建高铁 1 308 km,远期规划高铁 1 702 km,共计 5 525 km;瑞典远期规划高铁 750 km;英国运营高铁 113 km,远期规划高铁 543 km,共计 656 km。

亚洲运营高铁 15 241 km,在建高铁 9 625 km,计划建设高铁 1 259 km,远期规划高铁 4 999 km,共计 31 125 km。亚洲部分国家和地区高铁发展情况如下:中国运营高铁 11 132 km,在建高铁 7 571 km,远期规划高铁 3 777 km,共计 22 481 km;中国台湾运营高铁 345 km,在建高铁 9 km,共计 354 km;印度长期规划高铁 495 km;日本运营高铁 2 664 km,在建高铁 779 km,远期规划高铁 179 km,共计 3 622 km;沙特阿拉伯在建高铁 550 km;韩国运营高铁 412 km,在建高铁 247 km,计划建设高铁 49 km,共计 708 km。

除欧洲、亚洲外,世界其他国家运营高铁 362 km,在建高铁 200 km,远期规划高铁 1 768 km,共计 2 330 km。其中,巴西远期规划高铁 511 km;美国运营高铁 362 km,远期规划高铁 777 km,共计 1 139 km。

1.1.2 国内高铁发展技术简介

高速铁路是世界的一项重大技术成就,它集中反映了一个国家铁路线路结构、列车牵引



动力、装备制造、高速运行控制、高速运输组织和经营管理等方面的技术进步，也体现了一个国家的科技和工业水平。高速铁路是社会经济发展的必然产物，有利于促进国家或地区间城市一体化发展进程，在经济发达、人口密集的地区经济和社会效益显著。

高速铁路以其速度快、安全性好、正点率高、全天候运行、舒适方便、输送能力大、能耗低、污染轻等一系列技术优势，已成为世界许多国家和地区旅客运输发展的共同趋势^[2-4]。

1. 武广高铁

武广客运专线为京广客运专线的南段，途经鄂、湘、粤三省，于2005年6月23日在长沙首先开始动工，2009年12月9日试运行成功，26日正式运营。全长约1068.8 km，投资总额1166亿元。列车最高运营时速达到350 km，最高试验时速可到394 km。武广高铁成为当时世界上运营速度最快、里程最长的高速铁路。运行的列车车型主要有：CRH₂-C、CRH₃和CRH-380A，未来可能会有CRH-380B/C/D车型。武广高铁线路图如图1-1所示。

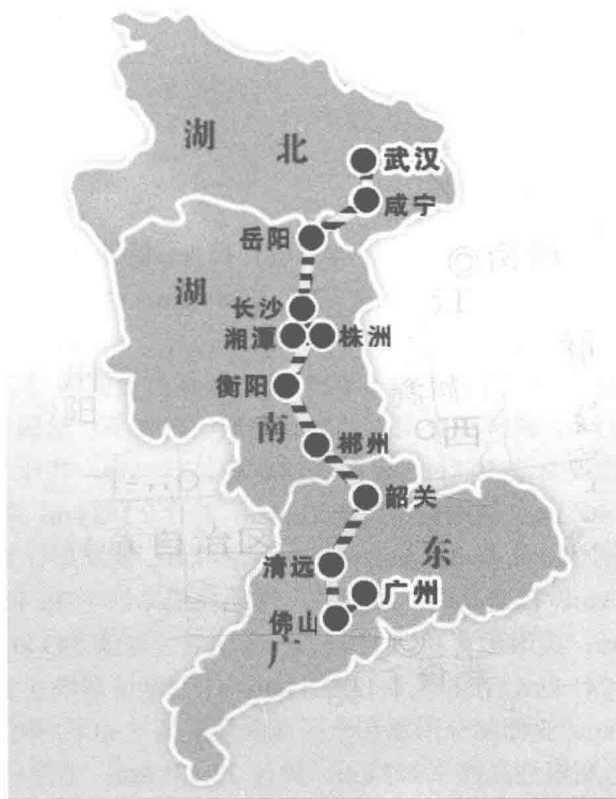


图 1-1 武广高铁线路图

武广高铁采用了无砟轨道和无缝轨道技术。

1) 轨道技术

武广客运专线采用当今世界先进的轨道技术——无砟轨道技术。其轨枕由混凝土浇灌而成，路基也不用碎石，铁轨、轨枕直接铺在混凝土路上，减少维护、降低粉尘、美化环境，可适用于时速达到200 km以上的高速列车。除了中国，日本、德国都有适合自身的轨道技术。

2) 无缝轨道

武广客运专线使用的是超长钢轨，而非普通的25 m钢轨。由于钢材料的体积受温度影响



大,即所谓的热胀冷缩,一般情况下采用的是 25 m 规格钢轨,并且在接缝处留有一定的缝隙。这就导致了列车在行驶过程中会由于钢轨接缝而颠簸。而武广客运专线为平均时速 260 km 的快速客运专线,当列车经过时即使是 0.5 cm 的凸起或缝隙都会造成极大的危险。所以武广客运专线在设计时便采用超长无缝钢轨,在适宜温度条件下施工(如长沙为 17~25℃),尽量减少温度对钢轨的影响,并且在钢轨下方设置有调节钢轨长度的混凝土块,保证了超长钢轨接缝处变化不超过 0.1 cm,从而保证了列车的安全和乘客乘车的舒适性。

2. 京沪高铁

京沪高速铁路,简称京沪高铁,于 2008 年 4 月 18 日正式开工,2011 年 6 月 30 日通车。它是中国“四纵四横”客运专线网的其中“一纵”,也是中国《中长期铁路网规划》中投资规模大、技术水平高的一项工程。京沪高铁线路图如图 1-2 所示。

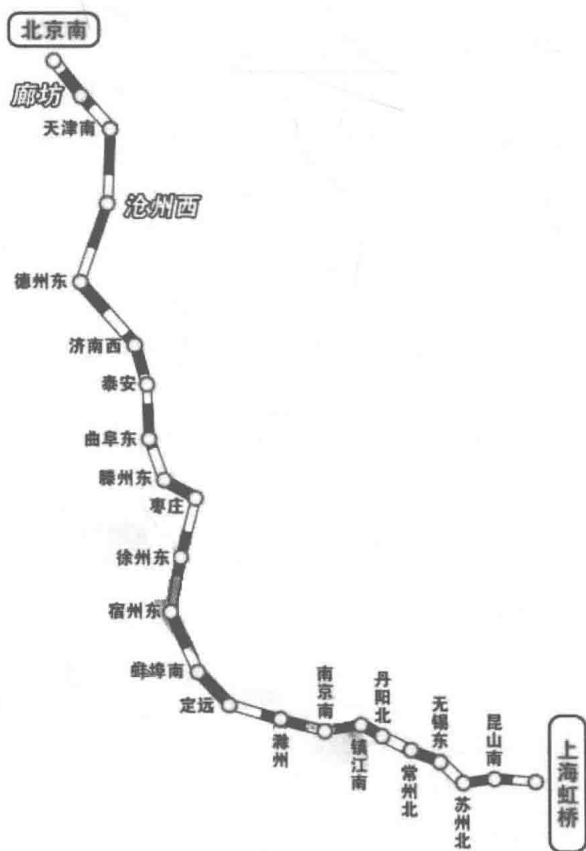


图 1-2 京沪高铁线路图

线路由北京南站至上海虹桥站,全长 1 318 km,纵贯北京、天津、上海三大直辖市和冀、鲁、皖、苏四省,连接环渤海和长江三角洲两大经济区。总投资约 2 209 亿元,设 23 个车站。基础设施设计速度为 380 km/h,目前运营速度降低为 300 km/h。它是新中国成立以来一条建设里程长、投资大、标准高的高速铁路。

线路的技术标准:

(1) 重视解决移动和固定设备的匹配兼容,具备本线旅客列车和跨线旅客列车共线运行条件,实现路网资源最大化。



(2) 选线设计避免高填、深挖和长路堑等路基工程,并绕避不良地质条件地段。无法绕避时,采用桥涵通过或选用其他适宜的工程措施处置。线路基础设施和不易改建的建筑物和设备为远期发展预留条件。

(3) 最小曲线半径、最大坡度、到发线有效长度、动车组类型、列车运行控制方式、运输调度方式、追踪列车最小间隔时分则根据行车速度、沿线地形地质条件、输送能力和用户需求等,经技术经济比选后确定。

(4) 路基、桥涵、隧道、轨道等各类结构物的设计满足强度、刚度、稳定性、耐久性要求,并加强各结构物的协调和统一,使车、线、桥(或路基、隧道)的组合具有良好的动力特性,严格控制结构物的变形及工后沉降。

(5) 车站的位置、布局、规模,参照沿线城市的经济、客运量、铁路运输组织、通过能力和技术作业需要,结合工程条件、城市规划等统筹研究确定。主要客站按照现代综合交通枢纽的建设理念,实现多种交通方式无缝衔接。

(6) 认真执行国家节能、节水、节材等有关政策,因地制宜地利用太阳能、风能、地热能等可再生能源,提高能源、资源的利用效率,减少污染。坚持统筹规划,在满足运输生产和安全防护要求的基础上,节约集约用地,少占耕地。

(7) 重视保护生态环境、自然景观和人文景观,重视水土保持,生态环境敏感区的保护、防灾减灾及污染防治工作。选线、选址绕避自然保护区、风景名胜区、饮用水源保护区、国家重点文物保护单位等环境敏感区;通过城市或居民集中地区时,采用适宜的速度值或降噪减震措施,满足国家环保标准和要求。路基边坡采用绿色植物与工程相结合的防护措施,兼顾美观与环保、水保等要求。

(8) 桥、隧和路基上电缆槽、接触网、声屏障,综合接地线及通信、信号电缆过轨等设备,加强系统设计,充分考虑设施的综合利用。

(9) 统筹研究、科学论证工务工程、牵引供电、通信信号、信息系统、动车组、运用维修各子系统的协调配合及系统优化和集成,实现高速度、高密度、高安全性。

3. 郑西高铁

郑西高铁,是国家高速铁路网中“四纵四横”的其中一横“徐兰客运专线”的中段。郑西铁路客运专线东起郑州铁路枢纽郑州东站,向西经过洛阳市、三门峡市、渭南市,西至西安枢纽的西安北站。西安北站到郑州站正线全长 456.6 km,另由西安北站向西延伸至陇海线咸阳西站,线路长 27.879 km。沿线新建郑州西站(原荥阳南站)、巩义南站、洛阳龙门站、渑池南站、三门峡南站、灵宝西站、华山北站、渭南北站、临潼东站、西安北站共 10 个车站,其中荥阳南站和临潼东站为越行站。2005 年 9 月 25 日正式开工,2010 年 2 月 6 日正式载客运行。郑西高铁线路图如图 1-3 所示。

郑西铁路客运专线为双线,线路穿越豫西山地和渭河冲积平原,南倚秦岭,北临黄河,沿线 80% 区段为黄土覆盖,湿陷性黄土区施工技术是最大的技术难题。该线的无碴轨道采用从德国旭普林(Züblin)引进的双块式无碴轨道技术。应答器的布置与京沪高铁的差不多,在环境允许的区域,可每隔 1 000 m 左右布置一个。在环境不允许的地方或车站内,可每隔几十米安装一个应答器。以郑西高铁的实测数据来看,应答器间距离在 44~1 021 m 之间波动,平均距离则为 735 m,如图 1-4 所示。

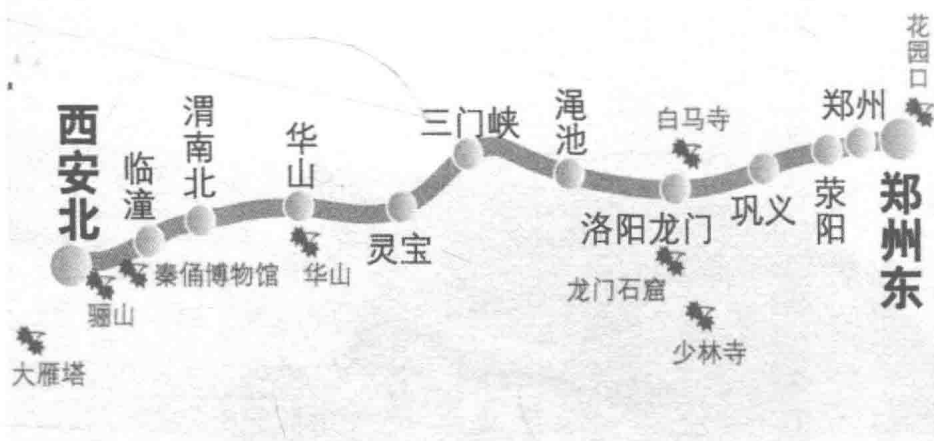
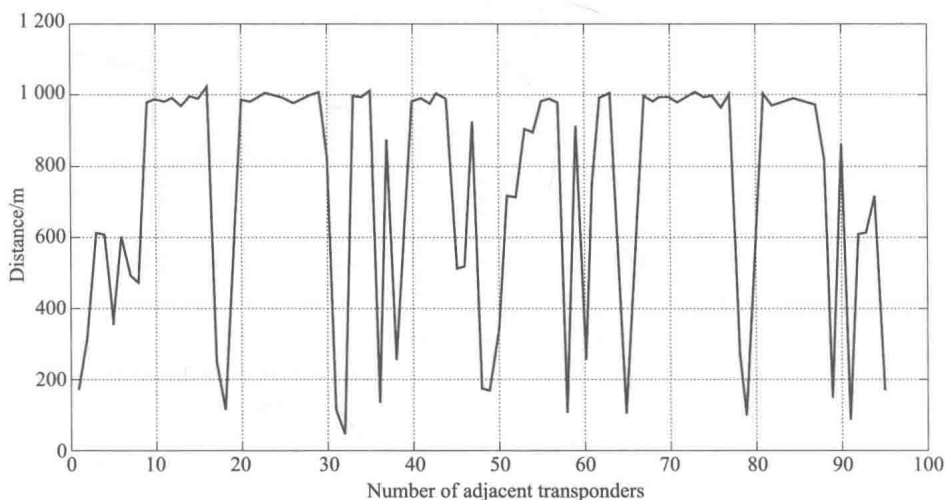


图 1-3 郑西高铁线路图



(横坐标表示应答器组编号, 纵坐标表示相邻应答器之间的距离)

图 1-4 郑西高铁应答器之间实际距离

1.2 高速列车的发展

高速列车能否安全平稳运行, 取决于施于列车上的各种力的产生、相互作用与控制, 因而高速运行条件下的列车力学行为、特性及其作用规律等构成了高速列车最重要的基础科学问题。研究并形成相应的理论和方法体系, 对构造合理安全的流固、轮轨和弓网关系, 以及在高速条件下使上述关系得以保持稳定的牵引、制动、材料、结构和控制技术, 具有重要的基础性和全局性意义, 是我国高速列车技术得以持续发展并保持领先地位的根本保障。动车基本结构图如图 1-5 所示。

高速列车是高速铁路技术体系的核心, 是国家相关高技术发展水平、相关制造能力、自主创新能力及国家核心竞争力的综合体现^[5]。继续提高列车速度和实现高速列车谱系化、智能化是世界高速铁路技术的发展方向, 也是我国高速铁路装备发展的战略需求^[6]。

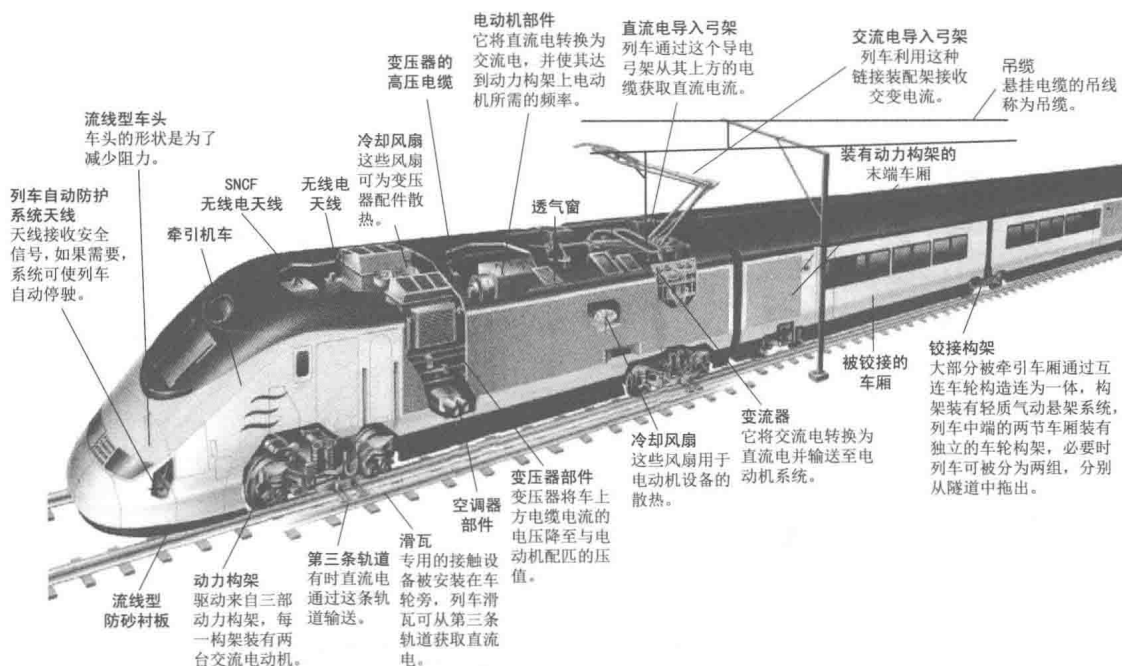


图 1-5 动车基本结构图

CRH₁ 由青岛四方机车车辆股份有限公司与加拿大庞巴迪的合资公司——青岛四方-庞巴迪铁路运输设备有限公司 (BST) 生产。原型车以庞巴迪为瑞典 AB 提供的 Regaina C2008 为基础。CRH₁-B 为 16 节大编组动车组。CRH₁-E 为 16 节车厢的大编组卧铺动车组。200 km 级别 (营运速度 200 km/h, 最高速度 250 km/h)。2009 年 9 月 28 日, BST 公司在北京与铁道部签订了 80 列时速 350~380 km 动车组订单, 其中 16 辆编组的 EMU 动车组 60 列, 8 辆编组的 EMU 动车组 20 列。CRH₁ 型动车组如图 1-6 所示。



图 1-6 CRH₁ 型动车组

CRH₂ 款车型是以日本 E2-1000 系车辆及技术为基础的。目前我国使用的 CRH₂ 型均使用与 E2 系相同的牵引电动机。另外, 所有 CRH₂ 型的座椅均可以回转。



第一批 CRH₂-A 型电动车组数为 60 列(编号 CRH₂-001A~CRH₂-060A),编组方式是 4 节动车配 4 节拖车(4M4T),每 4 节为一个单元,速度级别属 A 型(标称时速 200 km),最高营运时速为 250 km,用于经改造的既有路线上。

CRH₂-B 是由四方设计出的 16 节长大编组的 CRH₂-B 型电动车组(编号 CRH₂-111B~CRH₂-120B),级别属 B 型(标称时速 200 km),最高营运时速为 250 km。

第二批 CRH₂ 型电动车组编号由 CRH₂-061C 开始,是在 CRH₂-A 型设计的基础上进行修改,改动包括把动车数量增至 6 节(6M2T),使用 DSA350 型高速受电弓,以及在电弓两旁加装挡板等。列车速度级别属 C 型(标称时速 300 km),最高营运时速为 350 km,用于新建的高速客运专线上。

CRH₂-E 是四方设计出的 16 节长大编组的 CRH₂-E 型卧铺电力动车组,列车编号由 CRH₂-121E 开始,级别属 E 型(标称时速 200 km),最高营运时速为 250 km。CRH₂ 型动车组如图 1-7 所示。



图 1-7 CRH₂ 型动车组

CRH₃ 是中国北车集团唐山轨道客车有限责任公司(联合德国西门子,引进技术)负责国内生产。以西门子 ICE3(Velaro)为基础。300 km 级别(营运速度 350 km/h,最高速度 394 km/h)。作为京津城际高速铁路的用车在 2008 年 8 月投入使用,且京津城际列车大多数为 CRH₃ 型列车。CRH₃-D 是以 CRH₃-C 为基础的 16 节车厢的大编组座车动车组。CRH₃ 型动车组如图 1-8 所示。

CRH₅ 是中国北车集团长春轨道客车股份有限公司(联合法国阿尔斯通,引进技术)负责国内生产。以法国阿尔斯通的 Pendolino 宽体摆式列车为基础,取消了装设的摆式功能,而车体以法国阿尔斯通为芬兰国铁提供的 SM3 动车组为原型。200 km 级别(营运速度 200 km/h,最高速度 250 km/h)。其中 CRH₂ 和 CRH₃ 具备提速至 350 km/h 的条件。CRH₅ 型动车组如图 1-9 所示。



图 1-8 CRH₃ 型动车组



图 1-9 CRH₅ 型动车组

CRH-380A 是四方股份于 2010 年 4 月 12 日通过新一代高速列车新头型发布会发布, 4 月底完成首列车下线, 并于 4 月 26 日开始进入环行线试验, 5 月中旬已经完成环行线的调试, 5 月中旬开始进入郑西高速铁路进行 160 km 以下调试试验, 6 月 7 日开始正式高速试验。5 月 27 日, 长春中国北车长客股份高速车制造基地制造的“首辆车”下线。新一代高速列车超过京津、武广上运营的高速列车, 将创造一个新的世界运营速度最快纪录, 持续运营时速将达到 350 km, 最高商业运营速度可达 380 km/h, 为世界之最。最高运行时速于 2010 年 12 月 3 日的先导试验中高达 486.1 km, 超过了先前在沪杭线的实验运营速度记录 416.6 km/h。CRH-380A 型高速列车如图 1-10 所示。

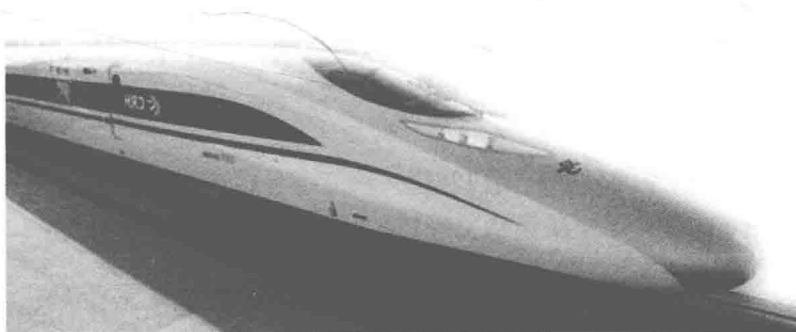


图 1-10 CRH-380A 型高速列车

1.3 高速列车定位技术的发展

传统列车定位技术的设备包括轨道电路和应答器等^[7-8]。

轨道电路有两大功能：通过轨道电路工作状态实现列车占用检查；利用电磁感应原理实现与机车车载设备之间的单向信息传送，即将信号发送到机车上。其基本原理是地面轨道电路发送设备根据发送条件，将所要传递的信息按照一定的调制方式转换为调制信号进行发送，车载设备利用安装在机车第一轮对之前的感应线圈，与轨道上传来的轨道电路信号发生电磁感应，感应线圈产生出与地面轨道电路信号相一致的感应信号，经机车信号主机信号处理、译码后，获得机车信号的信息。

应答器是一种基于电磁耦合原理实现的地-车间高速数据传输的点式传输系统，用于在特定地点从地面向列车传送信息。地面应答器不需要外加电源，在没有列车经过的时候，处于休眠状态。当有列车经过时，地面应答器被车载天线发送的功率载波能量瞬时激活，将接收到的电磁能量转换成电能，并利用转换的电能调制所存储信息，并将调制后的信息以报文信号发送给车载设备。车载设备天线接收应答器所发射的报文信号，经译码处理后，发送给列车车载设备安全计算机使用。目前使用的点式定位设备主要由地面应答器、轨旁电子单元、车载天线和应答器传输模块组成。

列车的高速运行（250 km/h 以上）对通信系统提出了很高的要求。无线通信系统对于保证铁路运输的行车安全和提高运输效率起着十分重要的作用。GSM-R（global system for mobile communication railway）是一种基于第二代数字移动通信 GSM 系统基础上经改进后适用于铁路的无线通信系统。我国高速铁路的建设主要采用 GSM-R 系统。

基于全球导航卫星系统（GNSS）的测速定位是一种近年来发展的列车定位技术^[9]。车-地间的信息传输采用 GSM-R 无线通信网络，定位信息由全球导航卫星系统提供服务。

全球导航卫星系统（global navigation satellite system, GNSS）是能够在全球范围内提供精确的、适时的导航服务。目前民用的卫星导航系统包括美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 Galileo 系统和中国的北斗卫星导航系统。GNSS 通过导航卫星提供定位服务。GNSS 接收机接收导航卫星发送的导航定位信号，以导航卫星作为动态已知点，实时解算出接收机当前的位置、速度和时间（PVT）。