

第 1 章 绪 论

1.1 高速铁路概述

关于高速铁路，国际上有若干不同的定义标准，其中国际铁路联盟（UIC）的定义是：高速铁路是指通过改造既有线路，使最高运营速度达到每小时 200 km 以上，或新建线路，最高运营速度达到每小时 250 km 以上的铁路系统。广义的高速铁路还包含运营速度达到上述速度标准，使用磁悬浮技术的高速轨道运输系统。

高速铁路是世界铁路的一项重大技术成就，是世界“交通革命”的一个重要标志。高速铁路是一个集各项最先进的铁路技术、先进的运营管理模式、市场营销和资金筹措于一体的十分复杂的系统工程，集中反映了一个国家在铁路线路结构、列车牵引动力、高速运行控制、高速运输组织和运营管理等方面的进步，也体现了一个国家的科技和工业水平^[1]。高速铁路是社会经济发展和运输市场竞争的需要，它促进了地区经济的发展和城市一体化进程，在经济发达、人口密集地区，其经济效益和社



会效益尤为突出^[2]。

目前，全世界的高速铁路发展方兴未艾。世界高铁运营里程排名依次为：中国、日本、西班牙、法国、德国、意大利。除了这些正在运营高铁的国家以外，沙特阿拉伯、伊朗、摩洛哥、丹麦等国也均有高铁项目正在推进。在境外高铁规划方面，现有 30 多个境外国家提出了高铁发展规划，总里程约 3.6 万 km，遍及亚、欧、非、北美、南美、大洋洲^[3]。

下面简要介绍国内外高速铁路发展概况。

1. 日本

20 世纪 50 年代初，日本国铁在高速公路和航空运输的竞争下，客运萎靡，连年亏损。1964 年东海道新干线投入运营后，吸引了大量客流，使客运由亏损变为盈余。接着又修建了山阳、东北、上越、长野（北陆）等新干线，至 20 世纪 90 年代建成遍布全国的高速新干线网络。日本东海道新干线是一条客运专线，线路设计允许最高速度 350 km/h，列车实际运行最高速度 270 km/h。该线路在建成通车以后，在夜间停运进行线路养护的情况下，东京与新大阪之间日均客流量达 36 万人次，年运量稳定在 1.2 亿人左右。随着山阳、东北、上越新干线的陆续建成，4 条



新干线共长 1 900 多 km，约占日本国铁新路总里程的 9%，占总旅客周转量的 33%，经济效益和社会效益显著。从此以后，这种新型的铁路形式在世界各地，尤其是在欧洲和日本得到飞速发展^[5]。

2. 法 国

法国从 20 世纪 70 年代开始修建高速铁路，目前法国运营中的高速铁路已超过 2 000 km。1994 年英吉利海峡隧道把英国和法国连接起来，建成了第一条高速铁路国际联络线。法国与德国在修建高速铁路的同时，实施对既有线进行提速改造，扩大了快速类车的开行范围。1997 年，从巴黎开出快速列车“欧洲之星”和 Thalys，穿行于法国、比利时、荷兰和德国之间，铁路快速运输开始向国际化发展^[5]。

3. 德 国

德国是世界上较早研究高速铁路技术的国家，1903 年，德国用电力机车牵引，试验车速度已达到 210 km/h。但是，德国的 ICE 是目前高速铁路中起步较晚的项目。ICE 的研究开始于 1979 年，其内部制造原理和制式与法国 TGV 有很大相似之处，目前的最高时速是 1988 年创下的 409 km。德国高速铁路的发展是把既有线改造、新建高速线、



发展摆式列车三者紧密结合起来的。目前已建成的高速铁路有 7 条：
汉诺威—维尔茨堡，曼海姆—斯图加特，卡尔斯鲁厄—巴塞尔，汉诺威—柏林，科隆—莱茵，纽伦堡—因戈尔施塔特—慕尼黑，埃尔福特—莱比锡/哈勒^[5]。

4. 意大利

意大利是欧洲最早建设高速铁路的国家之一，早在 20 世纪 60 年代就研究修建高速铁路。1970 年正式开工建设罗马—佛罗伦萨高速铁路，长度 254 km，设计速度 250 km/h。目前意大利运营中的高速铁路有 8 条。

5. 西班牙

1984 年，国际展览局决定 1992 年的世界博览会在西班牙的塞维利亚举行，西班牙即计划要建设首都马德里到塞维利亚的高速铁路。1987 年正式动工，1991 年底建成，1992 年 4 月随塞维利亚世博会开幕而通车。这条高速铁路长度为 471 km，采用标准轨距（西班牙既有铁路都是宽轨铁路），是按高中速列车混跑、客货车混运而设计的。主要开行 AVE 高速列车（速度 300 km/h）和 TALGO200 摆式列车（速度 160/200 km/h），以及少量 140 km/h 的货物列车。目前，西班牙营运中的高速铁路有 5



条，分别是：马德里—巴塞罗那，马德里—塞维利亚，马德里—巴利亚多利德，马德里—瓦伦西亚，佩皮尼昂—菲格雷斯。

6. 欧洲高速铁路网

除了上述几个欧洲国家外，其他一些欧洲国家也有高速铁路。英国 633 km 的东海岸干线中 303 km 长的伦敦—约克段，IC225 列车的最高速度可以达到 200 km/h。可以认为是高速铁路。瑞典的一些干线铁路开行 X2000 摆式列车，最高速度可以达到 200 km/h。此外，比利时有 142 km 高速铁路，丹麦有 15 km 高速铁路，荷兰也有少许高速铁路，与法国、英国、德国的高速铁路联成 PBKA 高速铁路网，开行 Thalys 国际高速列车。

7. 韩国

韩国首尔—釜山高速铁路是连接天安、大田、大邱、釜山等城市的一条主要干线，全长 412 km，线路最高运行速度 300 km/h，高峰时最小运行间隔为 3 min。2003 年 12 月，首尔—大邱线路完工开通，采用 TGV-K 高速列车，最高速度 300 km/h^[5]。此外，韩国还规划修建两条高速铁路：一条是由大田经光州到木浦的湖南高速铁路；另一条是首尔到



江陵的东西高速铁路。

8. 中国高速铁路发展概况

我国自 2008 年 8 月 1 日开通第一条高速铁路——京津城际铁路以来，高速铁路得到了迅猛发展。截止 2015 年底，我国高铁运营里程超过 1.9 万 km，位居世界第一，占世界高铁总里程的 60% 以上。

2016 年 7 月国家批准修编的《中长期铁路网规划》，规划方案包括高速铁路网、普通铁路网和综合交通枢纽 3 个组成部分。到 2020 年，铁路网规模将达到 15 万 km，其中高速铁路 3 万 km，覆盖 80% 以上的大城市；到 2025 年，铁路网规模将达到 17.5 万 km 左右，其中高铁 3.8 万 km 左右；2030 年基本实现内外互联互通、区际多路畅通、省会高铁连通、地市快速通达、县域基本覆盖。关于高速铁路，在原规划“四纵四横”主骨架基础上，增加客流支撑、标准适宜、发展需要的高速铁路，同时充分利用既有铁路，形成以“八纵八横”主通道为骨架、区域连接线衔接、城际铁路补充的高速铁路网。“八纵”通道包括：沿海通道、京沪通道、京港（台）通道、京哈—京港澳通道、呼南通道、京昆通道、包（银）海通道、兰（西）广通道；“八横”通道包括：绥满通道、京兰通道、

青银通道、陆桥通道、沿江通道、沪昆通道、厦渝通道、广昆通道。

我国台湾地区南北高速铁路规划设计开始于1998年,于2000年3月动工修建,2007年1月正式运营。线路自台北至高雄左营,全长345 km,轨距为1 435 m,最小曲线半径为6 370 m,限制坡度为25‰,速度目标值为350 km/h,建成后运营速度为250~300 km/h。建成后每天开行150对客车,最小发车间隔为3 min,台北到高雄的旅行时间为1.5 h。

表 1-1 世界主要国家和地区高速铁路运营线路

地区和国家	线 路	建设年代	线路长度 /km	最高速度 /(km/h)
日本	东海道新干线	1959—1964	515	285
	山阳新干线	1967—1975	554	300
	上越新干线	1971—1982	270	240
	东北新干线	1971—1985	675	320
	北海道新干线	2005—2016	148	260
	北陆新干线	1989—1997	345	260
	九州新干线(鹿儿岛线)	1989—2010	256	260
法国	TGV 东南线	1976—1994	409	300
	TGV 大西洋线	1985—1989	232	300
	TGV 北方线	1990—1994	333	300
	TGV 东南延伸线	1992—1994	148	300
	路网连接线	1994—1995	102	300
	地中海线	1995—1999	250	300



续表

地区和国家	线路	建设年代	线路长度 /km	最高速度 / (km/h)
德国	汉诺威—维尔茨堡	1988—1991	327	280
	曼海姆—斯图加特	1988—1991	99	280
	卡尔斯鲁厄—巴塞尔		182	250
	汉诺威—柏林	1992—1998	264	280
	科隆—莱茵	1995—2002	219	330
	纽伦堡—因戈尔施塔特—慕尼黑	1997—2003	171	300
	埃尔福特—莱比锡/哈勒	1998—2003	123	200
	汉堡—柏林		300	330
西班牙	马德里—巴塞罗那		621	300
	马德里—塞维利亚	1989—1992	472	300
	马德里—巴利亚多利德	1997—2007		350
	佩皮尼昂—菲格雷斯		44	300
	马德里—瓦伦西亚		391	300
意大利	佛罗伦萨—罗马	1970—1992	254	250
	罗马—那不勒斯	1992—2001	205	300
	米兰—都灵		125	300
	帕多瓦—威尼斯		25	250
	米兰—特雷维格里奥		27	250
	那不勒斯—萨莱诺		29	250
	米兰—博洛尼亚		215	300
	博洛尼亚—佛罗伦萨	1996—2005	79	300
韩国	首尔—釜山	1992—2004	420	300
中国台湾	台北—高雄	1998—2007	345	300



1.2 高速铁路停站方案与运行图协同编制的必要性

1.2.1 高速铁路列车开行方案

高速铁路列车开行方案是以客运量为基础，以客流性质、特点和规律为依据，科学合理地安排包括列车开行种类、起讫站、数量、经由线路、编组内容、停站方案等内容，从客流到列车流的整体组织方案^[6]。

高速铁路列车开行方案是旅客列车运营组织工作中的重要组成部分，是高速铁路列车运行图和动车组运用计划编制的基础，是旅客运输组织的核心问题之一。其对于提高旅客运输质量，增加铁路旅客运输的经营效益，增强铁路与其他运输方式之间的竞争实力，具有重要作用。

1.2.2 高速铁路列车运行图

高速铁路列车运行图是用以表示列车在高速铁路区间运行及在车站到发或通过时刻的技术文件，它规定各车次列车占用高速铁路区间的程序、列车在每个车站的到达和出发（或通过）时刻、列车在高速铁路区间的运行时间、列车在车站的停站时间等。高速铁路列车运行图是高速铁路运输工作综合计划和行车组织工作的基础。



1.2.3 停站方案与运行图协同编制的必要性

列车开行方案是高速铁路旅客运输组织的核心，它能较好地反映铁路运输的经营策略和服务质量^[7]。其中，列车停站方案的设置是开行方案中的关键环节。高速铁路旅客列车停站方案是在列车径路、类别、编组辆数、开行频率确定后，根据客流需求和列车的协调配合情况，确定各列车的停站序列。具体来讲，高速铁路停站方案需要确定以下内容：起讫点相同的列车中不停站的直达列车比例；每个车站的停站列车占通过列车的比例；每列车的停站次数及停站地点。长期以来，我国铁路既有线条件下，列车始发终到站及运行径路相同的旅客列车较少，旅客列车停站方案在列车开行方案编制中可根据客流因素直接确定。由于高速铁路同一方向开行的具有相同列车始发终到站及运行径路的高速列车较多，从客流因素而言，这些运行方向相同的列车在各站总的停站次数满足客流需求就可以了，而列车停站方案的制订则是指派每列车的具体停站，因此，高速铁路停站方案具有组合爆炸特性，与铁路既有线相比存在很大的差异，而且，它在很大程度上决定了高速铁路列车运行图的质量水平，需要考虑列车运行图编制中的众多影响因素。



既有普速铁路采用的运输组织方法是：在列车开行方案编制工作中确定列车停站方案，在将列车停站方案作为已知条件的基础上编制列车运行图。从以上分析可知：高速铁路旅客列车停站方案必须在列车运行图编制过程中具体优化确定，这是我国高速铁路运输组织工作所面临的新挑战，有关技术理论和方法研究具有现实意义和紧迫性。鉴于此，我们将研究高速铁路列车停站方案与列车运行图协同编制优化理论和方法，力求寻找一种能够综合平衡旅客需求与现有铁路技术设备条件的旅客列车停站方案制订方法，为我国高速铁路运营组织提供科学的理论依据和技术支持。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 旅客列车停站方案研究现状

目前，国内外对于列车停站方案的研究大多是结合开行方案问题进行的，主要包括以下几方面：

1. 旅客列车停站设置原则研究

旅客列车停站设置需要根据客流需求、车站能力、列车等级、径路长度及列车间的协调配合情况综合确定。高速列车停站次数和停站时间



大小是影响通过能力的主要因素。高速列车在站停留时间越短，停站次数越少对通过能力的扣除也就越小，高速铁路通过能力就越大^[8,9]。文献[10]讨论了合理的停站原则，提出应组织适当交错停站，以此达到既满足旅客出行需求,又提高旅行速度的目的。兰淑梅基于日本新干线运营经验指出，在我国京沪高速铁路应采用各站交错停站、直达等多种形式的停站方案^[11]。文献[12]提出了“列车在重要的车站停车，相对不重要的车站交替停车”的思路。

2. 旅客列车停站方案模型及算法研究

旅客列车停站方案模型及算法主要包括多目标规划模型、有序组合数算法、目标规划法、遗传算法、模拟退火算法等。文献[13]首次独立以停站方案为研究对象,分析停站设置和客流换乘选择之间的博弈关系，构建旅客列车停站设置方案优化双层规划模型并设计基于模拟退火的求解算法。文献[14]建立了高速列车开行方案的多目标 0-1 规划数学模型，构造了多层次 0-1 规划求解方法，并结合有序组合树方法对问题进行求解。文献[6]在列车运行区段、开行数量及列车等级确定的前提下，提出了列车停站方案的自适应遗传算法。文献[15]分析了“跨站停站”“区域停站”



“快/慢车”这 3 种非站站停的停站方案对乘客出行、系统运营组织的影响，及其适用条件；结合停站方案的优化目标，以停站与否为自变量，在客流需求已知且固定的情况下，构建不同停站方案的基本优化模型。项目组探讨了城际铁路旅客列车运行方案^[16]，并引入“时距”概念，建立共线运行条件下的越行组模型，得到高速铁路通过能力与有关因素之间的函数关系，分析了越行站分布对通过能力的影响^[17]。此外，还对高速列车停站模式对通过能力的影响进行了相关研究^[18,19]。

3. 基于旅客列车停站方案的客流分配研究

文献[20]通过构造基于开行方案及停站方案的换乘网络，根据路段路径阻抗，利用梯度映射法进行求解该网络的客流分配模型，最终获得各 OD 对之间的多条出行路径方案。文献[21]提出了客流分配和停站优化相结合的基于停站方案优化的客流分配方法。袁博晖从城市轨道交通的小时客流不均衡和断面客流不均衡两个方面，分析了改变运营组织方式的条件，并以节省出行时间为目标，建立了采用分站停车的运营组织方式满足乘客需求的数学模型^[22]。

1.3.2 高速铁路运行图研究现状



针对客运专线列车运行图和既有线运行图的区别,文献[23, 24]提出了目前客运专线运行图的新特点。文献[25]对客运专线列车运行图编制的基本算法、文献[26]对流程及动态性能指标等分别进行了讨论。许红借鉴既有线列车运行图编制理论,建立了城际列车运行图铺画的分层叠加数学优化模型,并给出了不同种类列车的布点模型,给出了基于优化策略的改进遗传算法^[27]。针对大多数独立的研究,文献[28, 29]基于旅客列车开行方案和运行图的铁路企业运营效益和旅客出行费用,以铁路企业效益最大化为优化目标,以车站整备能力、车辆总数和列车编组辆数等能力资源限制以及列车到发作业相容性为约束,建立了旅客列车开行方案与运行图综合优化的双层规划模型,并设计了基于模拟退火的综合优化算法。倪少权等提出了基于群体协同的铁路列车运行图编制系统并发控制方法,并实现了全路列车运行图的联网编制^[30-32],取得了有意义的成果。此外,文献[33-36]对列车运行图调整做了相关的研究。

1.4 急需解决的问题

通过对国内外研究现状的分析,总结高速铁路旅客列车停站方案与运行图的研究现状和实际需求,有下述问题急需解决:



(1) 目前高速铁路列车停站方案研究主要沿用铁路既有线的传统方法，需要根据高速铁路的特性研究提出合理的理论方法体系。

铁路既有线同方向开行的列车数量较少，停站方案主要以满足客流出行为主，造成列车停站次数较多，影响到线路能力。高速铁路同方向列车开行数量较多，列车停站方案对区间通过能力影响更大，同时，高速铁路旅客列车对停站的均衡性和停站率有一定的要求，停站方案呈组合爆炸特性，直接影响运行图编制的质量。因此，研究建立相关理论与方法是迫切需要的。

(2) 高速铁路列车停站方案与列车运行图协同编制研究。

高速铁路旅客列车的停站方案直接影响线路通过能力、列车旅行时间、旅客出行方便程度，以及所能完成的客运量。停站方案的可行性、停站间的可达性及停站时刻分布的均衡性等是影响高速铁路停站方案质量的关键因素，这些问题只能通过高速铁路列车运行图编制工作中协同解决。

(3) 高速铁路列车停站方案根据旅客需求变化的可调整性研究。

高速铁路停站方案需以最大方便旅客出行为目标，因此，高速铁路



停站方案不是固定不变的，应该根据旅客的需求变化，实时做出快速的调整，以达到满足旅客需求。故需要研究提出一种高效的高速铁路列车停站方案编制理论和方法，以满足不断变化的停站调整需要。

