

铁路运输高速化的仿真研究

马大炜

(铁道部科学研究院, 北京 100081)

[摘要] 从高速化的发展趋势出发, 应用仿真研究方法, 以沪宁高速区段为例, 对高速列车的牵引、制动和阻力特性进行分析, 计算比较了从 180 km/h 中速列车到 500 km/h 高速列车的不同旅行速度、运行时分、运能等有关高速列车运用效果的要素, 并对不同速度等级高速列车的能耗进行了初步比较, 分析了在现有科技水平下铁路干线高速化应选用的合理速度。

[关键词] 仿真研究; 发展; 高速列车; 能量

1 高速化是地面干线运输系统的趋势

地面干线运输系统通常指的是具有大量输送能力的铁路系统。众所周知, 轮轨铁路的运用历史已长达 150 年以上。由于社会经济发展的需要和科学技术的进步, 从 1964 年日本东海道新干线问世以来已经开创了时速 200 km 以上高速铁路的新时代。目前世界各国投入运营的轮轨高速铁路总长已近 5 000 km, 最高运营时速从 200 km 提高到了 300 km, 并以 350 km 为近期的发展目标, 发展趋势方兴未艾。同时, 另一种新型的地面干线运输方式——高速磁悬浮系统从 20 世纪 60 年代开始研究, 至今已在德国和日本分别建成了不同方式的 31.5 km 和 18.4 km 试验线。就试验速度而言, 轮轨方式的最高记录是法国 TGV 的 515.3 km/h, 次之为日本新干线的 425 km/h; 磁浮方式最高记录为日本超导方式试验线 552 km/h, 德国常导磁浮方式试验线 450 km/h。由此可见, 无论是轮轨方式还是磁浮方式, 都突破了以前的速度限界, 可以达到 300~500 km/h 的高速运行, 加上铁路系统具有的安全、舒适、运量大和节能等优越性, 无疑为高速客运和整个国民经济的发展带来了诱人的前景。为此, 铁道部从 20 世纪 90 年代初期开始对高

速铁路做了大量的前期研究工作, 尽管目前国内有轮轨方式和磁浮方式之争, 但无论采用何种技术方式, 高速化是地面干线运输系统发展的必然趋势, 是毫无疑问的。

2 高速列车运行的仿真研究

2.1 仿真研究的必要性和可行性

众所周知, 高速铁路系统是现代高新技术的合成, 尤以高速列车的发展最为引人瞩目。但高速列车运行是非常复杂的动力学过程, 涉及到列车组成、线路条件、牵引和制动性能、运用工况、操纵方法等因素。因此, 不能仅仅依靠简单的理论分析或主观想像来判断其运行特性和效果。世界各国发展高速铁路的经验表明, 必须应用计算机仿真技术才能在最短的时间内以较低的成本取得高速列车操纵运行的各种结果, 从而不仅为高速列车自身, 也为运输、线路和通信信号设计提供有效的手段。我国虽然至今尚无时速 300 km 以上高速铁路的实际应用, 但铁道部已在多年前期研究的基础上初步完成了京沪高速铁路的设计和高速列车技术条件, 并拥有较高水平的列车牵引计算的电算软件和技术力量, 因此已具备进行高速列车运行仿真计算的充分条件。这是高速铁路研究的有效手段之一。

2.2 仿真程序概述^[1]

2.2.1 高速列车的纵向动力学模型原理 对高速列车的运行模拟主要是牵引和制动计算，基本上是由车辆间钩缓装置连结构成的多质点动力学模型，当列车在线路上运行时，每辆车辆的位置不同，其受力情况也随时在发生变化，对于纵向运动，仅考虑沿轨道方向所受的各种作用力，包括机车牵引或动力制动力、空气制动力、前后车钩力、基本运行阻力和坡道、曲线导致的附加阻力。其中机车牵引力和动力制动力，按其特性采用三点曲线插值方法计算；空气制动力比较复杂，可按作用顺序分为机车制动力、列车制动波和车辆制动力三个子程序进行计算；基本阻力随车型和速度而异；车钩力则根据钩缓装置的特性建模计算。

在完成上述车辆受力情况的计算之后，根据牛顿力学定律，就可以建立运动方程组，应用数值积分方法，进行列车运行加速度、速度和位移的运动学计算。

2.2.2 电算程序的设计方法和特点 程序采用微软公司的可视化编程语言 Visual C++ 6.0，应用于中文 Windows 95 以上的环境。其主要特点是利用计算机图形技术，以图形和动画方式将列车运行过程可视化，以实时显示列车当前位置的线路和运行状况；列车模拟操纵有自动和手动两种方式，并可随时切换；具有列车编组、线路情况、运行情况和作用力等各种数值信息，可用弹出方式窗口分别显示；计算结果数据包括运行时分、区间速度、各种力、手柄位和能耗等，以曲线或表格方式输出。

2.2.3 程序组成概况 根据仿真研究的要求，该程序在总体模块之下设有若干子模块，其主要功能如下：

- 1) 数据库模块。包括机车车辆参数和不同线路的参数维护，可以查看、修改、检查各种参数并添加新的机车车辆类型和线路。
- 2) 列车编组。分为详细编组和简化编组。
- 3) 列车运行计算。主要是牵引、制动计算及其动画显示功能。
- 4) 信息察看。分为列车编组、力监测、列车位置、线路窗口。
- 5) 结果处理、显示及输出模块。
- 6) 任选项设置。系统、运行、显示等各种参数的选择功能。
- 7) 联机帮助模块。

8) 计算条件维护模块。读入、保存计算条件。

2.3 列车运行仿真的应用^[2]

普通铁路列车牵引计算的基本程序是，根据列车的编组条件、牵引和制动特性，以及阻力情况，首先确定列车的牵引质量和制动能力，再根据列车运行区间的坡道、曲线、信号条件和停车情况，计算列车在给定区间的运行速度、时间和制动距离等。由于列车纵向动力学的复杂性，长期以来在列车牵引计算中曾不得不做了大量的简化。20世纪70年代以来，随着现代计算机技术和数值计算方法的迅速发展，使列车牵引计算的方法发生了根本性的变化。笔者自1980年在日本东京大学研修以来，应用列车多质点动力学模型，先后对扩编旅客列车、重载货物列车的纵向动力学进行了计算研究和试验验证。90年代开始，我国的列车操纵运行仿真又有了较大的发展，主要反映在“列车牵引计算规程”电算程序的推广应用上。近年来，笔者在该软件的基础上，对京沪全线进行了200~300 km/h高速列车的初步仿真计算，得出了300 km/h列车可将京沪直达旅行时间缩短到5 h以内的结论。但高速化不仅涉及旅行速度，还涉及运输组织、运能和能耗等多方面的问题。近年来国内有专家提出发展500 km/h高速列车的问题，也有专家提出高速地面干线运输的合理速度以350 km/h为宜。笔者认为后者符合当前高速列车在国外的发展趋向和综合科技水平，但尚有进一步论证和分析的必要。为此，笔者在前阶段工作的基础上，以沪宁高速区段为例，应用仿真研究方法，对从180 km/h中速到500 km/h高速不同速度列车的运行结果作了进一步的计算分析，希望能提供若干定量比较的数据供领导决策和路内外专家参考。

2.4 高速列车运行仿真的特点

高速列车不同于普通列车的主要特点可以归结为大功率、复合制动系统、车体轻量化和流线化、智能化控制以及各种新结构、新材料的采用。例如，当列车时速达到350 km以上时，传统方式的机械阻力已不足10%，而占总阻力90%以上的空气阻力主要与速度、外形、质量有关；就牵引功率而言，亦应按单位质量所需的平均功率进行比较，以现有的300 km/h列车为例，单位质量功率约为20 kW/t，分别是普通货物列车的20倍和提速列车的5倍左右；制动距离与列车速度成二次方关系，因而更成为高速列车的关键技术之一。因此高

速列车运行仿真需要全新的牵引、制动、阻力特性模型,并依据速度而异;其次是要应用高速铁路的线路模型和技术条件,目前可以我国已完成初步设计的京沪高速铁路方案作为研究对象;此外还应该根据高速列车的作用特点进行操纵模拟,例如设定起动加速度和不同的停车制动作用模式;在本模拟计算中还附加的区间限速等次要因素作了简化假设,以便于在同等条件下的计算比较。

2.5 仿真研究的内容

高速列车的应用受到列车编组、运输模式、载容量、线路条件、牵引和制动性能等多方面因素的影响。

2.5.1 牵引能力对速度和能耗的影响

牵引能力和最高速度的决定性因素是按单位质量计算的牵引功率。例如日本新干线高速列车从100系到500系,均为16辆编组,由于电机功率增加和车辆轻量化,其单位质量牵引功率已从11.9 kW/t提高到了26.1 kW/t,最高运营速度也由230 km/h提高到了300 km/h;德国TR07试验型磁浮列车的牵引功率为103.2 kW/t,因此最高时速可达到450 km/h。今后随着牵引功率的不断提高,无论轮轨方式还是磁悬浮方式,要达到500 km/h速度都是不足为奇的。因此仿真研究按不同的牵引功率可分别模拟180、200、250、300和500 km/h的中高速列车的运行,主要是对运行时分、旅行速度、能耗进行计算比较。

2.5.2 运行方式和客流量

运行方式以沪宁区间为例,分为上海南京直达和沿线大站停车两种方式。前者旅行速度较高,但不如后者更能吸引多数旅客,满足客运的实际需要,对此今后尚需深入研究。

2.5.3 制动停车模式对运行时分的影响

一方面,高速列车的乘坐舒适性受到制动过程中纵向减速度的制约;另一方面,高速列车的制动附加时间和安全性又要求尽可能大的制动减速度。为此需要对不同的制动停车方式进行比较,以寻求合理的制动模式。

2.5.4 线路条件对起动加速度的影响

高速线路以沪宁线为例,设计最大坡度为12‰,远大于既有线,即使不考虑对制动限速和距离的影响,也会影响起动加速度和运行时分。为此对300 km和500 km时速的列车,比较了在大坡道区间与平道区间的起动加速时间。

以上结果主要是不同方案高速列车实际运行时分和能耗的比较,这对无论何种方式的高速列车,都是重要的评价指标。此外还有环保问题的制约,也是本文的议题之一。

3 仿真研究的基本条件^[2,3]

3.1 高速列车的基本技术条件

与列车纵向动力学有关的基本参数是列车的长度(编组辆数)、质量(定员)、牵引功率和制动性能等。根据有关资料,对不同速度等级列车进行模拟,选择参数如表1所示。

表1 高速列车基本参数

Table 1 Basic parameters of high speed trains

方案	目标速度 /km·h ⁻¹	编组辆数	定员 /人	总质量 /t	总功率 /kW	单位质量功率 /kW·t ⁻¹	紧急制动距离 /m
A	500	10	800	480	57 600	120	≤8 000
B	300	13	1 040	632	28 800	45.6	≤4 000
C	250	11	880	532	4 800	9	≤2 700
D	250	16	1 280	756	4 800	6.4	≤2 700
E	200	15	1 400	840	4 800	5.7	≤1 800
F	200	16	1 280	756	4 800	6.4	≤1 800

单位列车运行阻力 ω_0 与运行速度 v 的关系采用TGV列车的试验公式,即

$$\omega_0 = 0.62 + 0.0082v + 0.00014v^2$$

3.2 高速铁路的基本情况

以南京至上海间的初步设计方案作为模拟运行区间。该区间总长为295.8 km,主要车站为南京、镇江、常州、无锡、苏州和上海,平均间隔在60 km左右,区间最大坡度为12‰,车站起停坡度一般在6‰以下,不考虑曲线及区间信号附加的限速,停站时间均设为3 min。

3.3 操纵方法概述

高速列车应以智能化自动操纵为主,人控为辅,并尽可能发挥列车的最大牵引能力和制动能力。为此计算模拟时也以自动驾驶为主,在列车起启动加速时采用最大把位,制动停车以制动系数0.5、0.8和1.0的不同模式进行操纵;在下坡道接近目标速度限值时由再生制动自动调速,基本上不考虑制动过程中的能耗而仅计算牵引能耗。

4 仿真结果及其分析

4.1 不同方案的列车运行时分及旅行速度比较

由表2可见旅行速度与最高目标速度的差别,

运行区间越短，该差别也越大。500 km/h 高速列车在沪宁沿线主要车站停车时模拟计算的旅速为 300 km/h 左右，和 300 km/h 列车仅相差 20 min。在更短的运行区间内，例如苏州和无锡站间距离为 42.1 km，其中起动加速到 300 km/h 的距离为 4 km 左右，从 300 km/h 制动停车需 4 km 以上，对两种列车是相似的。因此 500 km/h 列车和 300 km/h 列车有速度差的区间不过 30 km 左右，其旅行时分仅相差 2.8 min。由此可见，500 km/h 高速缩短运行时分的效果主要表现在长距离点到点的运输模式中，对于短距离运输则不太明显。

表 2 沪宁区间列车运行时分（累积）比较

Table 2 Run time comparison of high speed trains between Nanjing-Shanghai high speed section min

方案	南京	镇江	常州	无锡	苏州	上海	旅行速度 / km·h ⁻¹	
A	直达	0	9.2	16.7	21.6	26.7	38.9	456.3
	停站	0	10.4	23.3	33.3	43.7	59.0	300.8
B	直达	0	14.8	27.3	35.4	44.0	61.6	288.1
	停站	0	15.7	32.9	45.8	59.0	80.6	220.2
C	直达	0	20.0	35.1	46.1	56.6	77.2	229.9
	停站	0	20.8	42.4	59.0	75.9	103.2	172.0
D	直达	0	23.5	41.0	52.7	63.8	89.4	198.5
E	直达	0	26.8	52.6	65.9	83.1	115.7	153.4
F	直达	0	22.9	41.5	53.7	67.0	92.3	177.1
	停站	0	23.3	46.8	63.9	81.8	112.3	158.0

注：停站均采用 1.0 制动系数即常用全制动能力停车

4.2 起动车牵引能力和运能

由表 1 可见牵引功率随目标速度急剧增长的趋势。例如德国常导磁浮 TR07 试验车的总功率为 32 MW，5 辆编组总质量 310 t，单位质量功率为 103.2 kW/t，仍不足以达到 500 km/h 的目标速度。所以 A 方案需要将牵引功率提高到 120 kW/t，相当于 B 方案 300 km/h 列车的 2.7 倍左右，即和目标速度的二次方成正比。为此 A 方案的牵引总质量和列车定员也不得不较 B 方案减少 1/4 左右。

此外由 C~F 各方案的计算比较可见列车牵引质量（定员）对速度的影响。在同样的牵引总功率下，不同定员 250 km 时速的沪宁线直达旅行速度分别是 229.9 km/h 和 198.5 km/h，相差 15.8 %；

E 方案的 200 km/h 列车由于定员增加，其最高运行速度仅及 180 km/h，而未能达到目标速度。

4.3 制动作用对旅行速度和舒适性的影响^[4]

根据国外高速列车的制动性能要求，300 km/h 列车采用充分利用粘着的复合制动系统，其制动性能可满足紧急制动距离不大于 4 km 的要求；500 km/h 列车按更高的制动性能要求，在复合非粘着制动作用条件下，紧急制动距离可缩短到 8 km 以下。在此基础上再按不同的停车制动模式进行仿真计算，整理结果如表 3~表 5 所示。

表 3 为不同制动方式对沪宁高速区段旅行速度的影响；表 4 为不同速度列车停车附加时分的比较。由此可见 0.5 制动系数对旅速影响较大，特别是 200 km/h 以上高速列车的停车附加时分超过 1 min，加上起动车附加时分将达不到现有高速列车追踪间隔 3~4 min 的运输密度要求。所以，高速列车的制动系数以 0.8 以上为宜。

表 3 沪宁区间不同制动方式对旅行速度的影响

Table 3 Relationship between travel speed and braking model

方案	停站时间 /min	制动系数	旅行时间 /min	旅行速度 /km·h ⁻¹
A	12	1.0	59	300.8
		0.8	60	295.8
		0.5	64.2	276.4
B	12	1.0	80.6	220.2
		0.8	82.2	215.9
		0.5	84.8	209.3

表 4 不同速度列车的常用制动停车附加时分

Table 4 Addition stopping time of service brakes about different speed trains s

项目	高速列车			提速列车			普通列车	
	500	300	250	200	160	140	120	
制动系数	$\beta_b = 1.0$	68	48.4	35.5	27.8	25.1	21.6	19.0
	$\beta_b = 0.8$	93	58.2	43.0	33.5	30.5	26.6	22.7
	$\beta_b = 0.5$	167	104.8	79.2	61.9	57.3	51.1	42.4

注：各种列车按照不同的制动装置条件进行电算

停车制动距离与平均减速度模拟计算结果如表 5 所示。根据列车乘坐舒适性的要求，常用制动停车过程中的平均减速度应该在 0.7 m/s² 以下（目前国外高速列车自动控制的停车减速度为 0.5~0.7 m/s²）。因此 1.0 制动系数模式的舒适性较差，A 方案在 0.8 制动系数时的平均减速度亦已超标。

关于缩短制动附加时分和纵向舒适度的矛盾, 尚需做更进一步的优化设计。

表5 不同制动方式的制动距离与平均减速度

Table 5 Brake distances and average deceleration about different braking model

初速 /km·h ⁻¹	制动 系数	制动距离 /m	制动时间 /s	平均减速度 /m·s ⁻²
500	1.0	9 851	140	0.99
	0.8	11 288	165	0.84
	0.5	15 758	239	0.58
300	1.0	4 548	103	0.82
	0.8	5 320	122	0.68
	0.5	7 800	178	0.47

4.4 不同速度运行能耗的初探^[5]

4.4.1 高速列车能耗简析 高速列车的显著优点之一是节能, 例如日本高速列车的能耗不及汽车的1/6或飞机的1/5。但作为地面交通系统, 除固有的机械阻力以外, 其大部分能量必须用于克服空气介质造成的气动阻力, 该阻力随速度二次方而增加。根据国外的试验结果, 当速度超过350 km/h时, 空气阻力占90%以上。相比之下, 轮轨方式的滚动摩擦阻力或磁浮方式的磁性涡流阻力加上浮力, 仅为总阻力或能耗的10%以下, 与空气阻力

相比是无足轻重的。因此本文计算的能耗主要包括两个部分, 即列车起动加速的能耗及在运行过程中克服阻力的能耗, 此外还有坡道和曲线对能耗的影响; 关于制动能耗, 由于高速列车的制动方式以动力制动为主, 空气制动为辅, 现有高速列车均采用再生制动, 非但无能耗还有反馈作用, 所以可以忽略不计。

4.4.2 不同速度运行能耗的比较 应用列车运行的仿真程序可随时计算列车的牵引力、运行速度和时间, 从而计算列车在各个区间内的能耗和总能耗; 根据列车运行阻力和运行距离, 加上牵引起动的动能, 可以简算列车的能耗。两种方法的计算结果相似, 如表6所示。

表6 京沪高速列车直达能耗

Table 6 Consumed energy of high speed trains between Beijing—Shanghai

列车总 质量/t	牵引功率 /kW	平均阻力 /N·kN ⁻¹	平均速度 /km·h ⁻¹	阻力能耗 /kW·h	总能耗 /kW·h	电算结果 /kW·h
900	14 400	14.9	268.6	47 504	50 424	49 215

应用上述方法对A方案和B方案的能耗进行计算比较, 结果如表7所示。

表7 不同速度高速列车能耗的比较

Table 7 Comparison about consumed energy between different speed trains

方案	列车总质量 /t	定员	功率/kW	最高速度 /km·h ⁻¹	平均速度 /km·h ⁻¹	区间距离 /km	平均阻力 /N·kN ⁻¹	阻力能耗 /kW·h	总能耗 /kW·h
A	480	800	57 600	500	456.3	295.8	35.5	13 738	18 368
B	632	1 040	28 800	300	288.1	295.8	16.6	8 456.5	10 651

此外, 列车的能耗还和运能有密切的关连, 运能又取决于列车的定员、轴载等设计条件。在假设车辆设计的轴载和乘坐舒适度(单位座席占有面积)相同的条件下, 才能对不同速度的能耗进行合理的比较, 以沪宁高速铁路300 km/h高速列车全线运行模拟计算的结果为例, 在同样列车总质量和总能耗条件下(表7), 不同车辆轴载、编组数、定员的能耗比较如表8所示。

在同样轴载和座席设计条件下不同速度对能耗的影响, 计算结果如表9所示。

由表9可见能耗和速度的关系, 仿真研究结果和国外资料相比, 无论轮轨方式还是磁浮方式, 该

关系是相同的。在同样轴载条件下, 仿真研究表明, 能耗和速度几乎成二次方关系, 500 km/h列车的人均公里能耗是300 km/h的2.5倍左右。

表8 轴载、编组辆数、定员对列车能耗的影响

Table 8 Effect of weight and capacity on consumed energy of high speed train

轴载 /kN	车重 /t	编组 辆数	定员	吨公里能耗 /W·h·(t·km) ⁻¹	人公里能耗 /W·h·(人·km) ⁻¹
125	50	18	1 440	43.1	26.9
140	56	16	1 280	43.1	30.3
150	60	15	1 200	43.1	32.3

表 9 不同运行速度对单位能耗的影响

Table 9 Effect of different speed on average consumed energy

最高速度 /km·h ⁻¹	平均运行速度 /km·h ⁻¹	吨·公里能耗 /W·h·(t·km) ⁻¹	人·公里能耗 /W·h·(人·km) ⁻¹	备注
300	268.6	43.1	25.8	沪宁高速 仿真结果
300	288.1	57.0	34.6	
500	456.3	130.0	77.6	
200	200	43.2	30	TR07:
250	250	51.8	36	5 辆/组,
300	300	63.3	44	446 人, 总
400	400	90.6	63	质量 310 t

5 高速列车的社会效果和环保问题^[5]

高速列车作为大运量的地面交通系统与其他运输工具相比, 不仅具有节能和安全的优点, 而且是唯一完全使用无污染能源——电力的交通工具, 其排放的有害物质远小于汽车和飞机, 对城市和沿线环境造成的污染最小, 而且有明显的社会经济效果, 表 10 和表 11 为日本新干线的统计效果。

表 10 日本三种交通工具 CO₂ 排放情况

Table 10 Exhaust of CO₂ about different traffic systems

排放物	高速列车	汽车	飞机
CO ₂ /g·(人·km) ⁻¹	5.6	44.6	30.2
比照比率/%	100.0	796.4	539.2

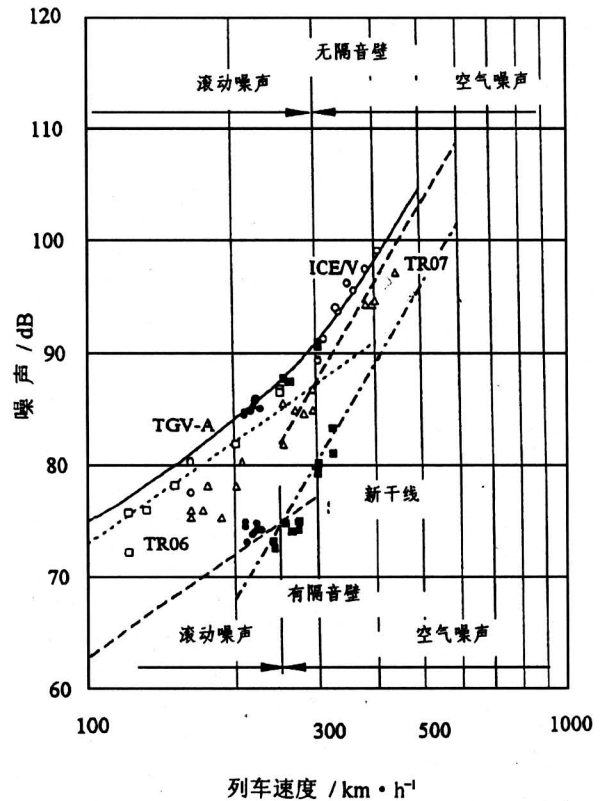
表 11 东海道、山阳新干线社会经济效果

Table 11 Socio-economic effect of Sanyo and Toygaedo shinkansen line 亿日元

统计项	NOX+SOX	COX	噪声	节能	总计
1995 年节省	163	124	34	122	443
开业以来累计节省	3 800	2 800	800	7 500	14 900

我国京沪高速铁路沿线的社会经济情况和运量预测与日本东海道新干线十分近似, 已经国内外专家多次评价认为具有平均每年约 230 亿元的社会经济效益。但根据世界各国发展高速铁路的经验, 目前在高速化中的环保问题莫过于噪声的影响。高速列车噪声来源于三个方面, 即空气动力学作用, 轮轨滚动接触和机械作用。在 300~500 km/h 高速范围内主要是空气介质产生的噪声, 该部分噪声与速度的 6~9 次方式正比。如图 1 所示, 德国和日本高速磁浮列车的噪声均在 80 dB 以上, 超出了环

保标准的 75 dB, 至今尚未找到有效的解决方法, 在这方面磁浮列车同轮轨型列车也没有多大的差别。为此, 国内外有识之士已提出了环保对高速化的制约问题。



○—ICE/V; □—TR06; △—TR07; ●—0 系和 100 系; ■—300 系

图 1 欧洲和日本高速铁路两侧的噪声水平

Fig.1 Comparison about noise of high speed rail between Europe and JR

6 结论和建议

1) 本研究在国内首次提出了较详细的高速列车运行的数值仿真研究方法, 并应用高速铁路沪宁区段的设计方案, 对最高速度从 180 km/h 到 500 km/h 五种不同运行速度和不同停车方式共 14 种方案进行了运行模拟和分析比较, 同时与京沪全线 900 t 高速列车的仿真研究结果进行对比, 为高速列车预研提供了参考和依据。

2) 本研究的主要内容包括列车牵引起动能力、制动模式、运行时分、旅行速度和能耗的定量研究, 研究结果与国外有良好的一致性。

3) 本研究从实用性出发, 说明铁路运输高速化的最高运营速度以 350 km/h 为宜, 理由有三

点:

a. 运输需求和能耗的合理性 从能耗考虑,人公里能耗基本上与速度的二次方成正比,500 km/h的能耗几乎是300 km/h的2.5倍。因此必须考虑实际运用条件和旅客对票价成倍增长的承受能力。根据仿真计算结果,以我国经济最发达的沪宁线为例,500 km/h与300 km/h列车相比的直达和站停旅行时分缩短均为20 min左右,仅占站停全程旅行时间的1/4,与能耗或运价相比,应当说在经济上是不合理的,何况后者还是主要的客流量。因此可以认为500 km/h高速不适用于短途运输,而仅在长距离点到点的运输模式中较300 km/h有明显的时间优势,但又存在与航空竞争的问题。300 km/h列车与现有的140~160 km/h提速列车,甚至与180 km/h中速列车相比,能将沪宁线的直达旅行时分缩短将近50%,有着明显的效果,已为国外实际运行所证明。

b. 牵引和制动性能 就牵引动力而言,提高速度实际上是提高单位质量牵引功率的问题。目前国外的轮轨方式或磁浮方式最高试验速度均达到了500 km/h以上。但同时还存在有舒适性和制动距离的影响。仿真研究的结果表明,500 km时速列车在满足纵向舒适性 0.6 m/s^2 条件下的常用制动停车时间将近4 min,制动距离约为16 km,分别相当于200 km时速的2倍和3倍左右,不仅导致短区间旅行速度的明显下降,而且将对列车的运行控制、通信信号和追踪间隔等带来一系列的问题,在配套技术方面尚未成熟,这也是迄今为止国外高速列车仍以350 km/h作为近期发展目标的原因之一。

c. 环保的制约 作为地面运载工具,无论是磁浮列车还是轮轨高速列车,与飞机不同的是在稠密的大气层中运行,无法避免空气阻力引起的空气噪声。例如德国常导磁浮列车在300 km/h时的噪声实测约为85 dB,低于ICE的90 dB,高于日本轮轨高速300系的80 dB,但均高于环保规定的75 dB;在400 km/h时的实测值则急剧增加到100 dB左右,大大超过环保规定,目前尚无法解决,这也是日本超导磁浮列车至今不能实用化的主要原因之一。德国亦不例外。必须考虑实际运用环境和试验环境的根本区别。此外,磁浮式还有电磁波对居民区的环境影响,尽管目前国外尚无定论。

总之,从牵引能耗、制动附加时间和环保各方面考虑,根据当前的实际运用条件和技术水平,国内外有识之士已提出,地面交通系统的合理速度以不超过350 km/h为宜的结论性意见。

参考文献

- [1] 列车牵引计算规程. 电算程序用户手册[M]. 北京: 铁道部科学研究院机车车辆研究所, 1999
- [2] 铁道部科学研究院,京沪高速铁路技术研究总体组. 京沪高速铁路技术子系统结合部仿真研究[A]. 京沪高速铁路综合技术研究资料汇编(之三)[C]. 北京: 铁道部科学研究院, 1999
- [3] 马大炜, 林台平. 关于高速列车制动距离的研究[J]. 中国铁道科学, 1998, (1): 40~47
- [4] 马大炜. 关于高速列车制动系统的思考[J]. 铁道车辆, 2000, (1): 12~15
- [5] 沈志云. 高速地面干线运输的合理速度[A]. 高速轮轨与磁悬浮系统比较研讨会资料[C]. 中国国际工程咨询公司, 1999

Computer Simulation of High Speed Rail Traffic System

Ma Dawei

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

[Abstract] Starting from the trend of high speed rail development and taking the Nanjing-Shanghai section of Beijing-Shanghai high speed rail line for example, this article analyzed the tractive, braking and running resistant characteristics of high speed train by way of computer simulation. A brief calculation and comparison on socio-economic effect were made including running speed, travel hours and traffic capacity of various trains at the speed between 180 km/h to 500 km/h. In addition the energy consumption of trains at different speed was compared. The proposal concerning the reasonable speed level of high speed rail traffic under the existing conditions was made.

[Key words] computer simulation; development; high speed train; energy