

绪 论

第一节 高速铁路的发展

1—1 世界高速铁路的发展

自 1781 年英国人瓦特发明蒸汽机后,带来了人类史上第一次产业革命。1825 年英国建成以蒸汽机车为动力的世界上第一条铁路。当时的列车牵引质量不足 200t,时速亦未超过 40km。随着科技进步和社会经济的不断发展,铁路牵引动力亦由蒸汽牵引发展为内燃牵引和电力牵引,全世界共修建了 1 300 000km 铁路。但在 20 世纪 50 年代,铁路遇到了汽车和航空运输的激烈竞争,管道运输的发展也很快,悲观者认为铁路已是“夕阳工业”,不要太久就会和马车一样进入历史博物馆了;而另一些有识之士则不然,他们应用当今世界上各种电子技术、新设备、新材料和新工艺,实现铁路现代化。1964 年 10 月 1 日,第 18 届奥运会在日本东京开幕前夕,东京至新大阪 515km、时速 210km 的世界第一条高速客运专线——东海道新干线通车,全线运行时间仅 3 小时 10 分钟,90 年代初它又将时速提高到 270km,进一步缩短了运行时间。

铁路速度的分挡一般定为:时速 120km 及以下为常速或普速;时速 120~160km 称为中速;时速 160~200km 为准高速或快速;时速 200km 以上称为高速。这一划分标准,也是随着技术进步而逐步提高的。

日本继东海道新干线之后,又陆续建成山阳、东北、上越等新干线。高速铁路投入运营后,立即显示了它的巨大的技术经济优势,也扭转了日本铁路长期不景气和亏损局面。之后,法国在 1981 年建成了它的第一条高速铁路,长 425km 的 TGV 东南线,时速达到 270km;1989 年长 308km 的 TGV 大西洋线投入运行,时速为 300km,而且 1990 年在该线上成功的进行了时速达 515.3km 的试验,创造了当今世界铁路轮轨接触方式的最高纪录。法国高速铁路后来居上,在施工、运营等技术经济指标上超过日本而居世界领先地位。

交通工具的变革都是围绕着如何满足日益增长的社会需求,让人们在更大的空间、更短的时间内流动这个目标进行的,因而速度是交通运输现代化的重要标志。高速铁路与其他运输方式比较,具有其独特的技术经济优势:

1. 速度快:从节约总旅行时间看,在距离 200~1000km 范围内优于高速公路和飞机。
2. 运能大:高速铁路和四车道高速公路单方向每昼夜输送旅客人数之比为 1:0.2。
3. 舒适度和安全度:日本东海道新干线 30 多年输送旅客 40 亿人次,未发生过伤亡事故,其他已有高速铁路的国家也未发生过伤亡事故,且旅客乘坐舒适。

4. 能耗低:如以普速铁路每人公里的能耗为 1.0,则高速铁路为 1.42;公共汽车为 1.45;小汽车为 8.2;飞机为 7.44。

5. 比高速公路占地少:四车道高速公路占地宽 26m,双线铁路占地宽 20m。

6. 环境保护:高速电气化铁路本身基本无空气污染,如考虑火力发电厂污染物排放量,则高速铁路、小汽车、飞机的二氧化碳排放量之比为 1:3.0:4.1。

7. 比航空运价低:在国外,高速铁路的票价一般为飞机票价的 2/3。

8. 投资效益:日、法、德等国的普速铁路都亏损,唯独高速铁路客运盈利,投资回收期一般为 10 年左右。

综上所述,在现代旅客运输诸系统中,高速铁路在运输安全、旅行时间、运价、舒适度、占地、运能、环保、投资效益等方面,都占有明显优势,这是获得世界各国政府普遍关注的重要因素。

在日本、法国修建高速铁路取得成效的基础上,世界上许多国家和地区掀起了建设高速铁路的热潮,德国、英国、意大利、西班牙、瑞典和前苏联也先后新建或改建了高速铁路,美国也开始重视并着手高速铁路的建设,韩国和我国的台湾也都分别规划在本世纪末要建成时速达 300~350km 的高速铁路。高速铁路技术已经成熟,高速化已成为当今世界铁路发展的共同趋势。目前,世界上最高时速在 200km 以上的高速铁路总里程已有 4000km,包括时速 200km 的线路总里程已超过 10 000km。

日、法、德、英等国都能结合本国国情,采用不同的高速铁路修建模式,这些模式可分下列四类:

1. 日本新干线模式:日本国铁是轨距 1067mm 的窄轨铁路,新干线一律采用标准轨距。全部修建新线,旅客列车专用,并采用较小坡度。

2. 法国 TGV 模式:大部分修建新线,采用较大坡度,降低工程造价,小部分改造旧线,旅客列车专用。

3. 德国 ICE 模式:全部修建新线,客货混用。

4. 英国 APT 模式:既不修建新线,也不对旧有线路进行大量改造,采用由摆式车体的车辆组成的动车组;客货混用。摆式车体列车适用于一些运输不太繁忙,客货混运或快慢车混跑的线路上。

1—2 我国高速铁路的建设前景

我国幅员辽阔,人口众多,经济尚不发达,能源相对紧缺;随着改革开放的深入,社会主义市场经济发展迅速,人口城镇化进程加快,国际交往增多,旅游事业也日趋兴旺,诱发了大量客运需求。但我国铁路的现状是,发展不平衡、路网不发达,技术装备落后、客货共线且以货运为主,运量和运能的矛盾十分突出。长期以来,“乘车难”的状况非但没有解决,而且日益严重。京沪、京广、京哈、沈大等一些主要干线的能力利用程度早已饱和,铁路的滞后状况已经制约着国民经济的持续发展。

为了彻底摆脱交通运输系统运力不足的困境,适应我国经济建设和发展的需要,

只有不失时机地抓紧建设高速铁路才是最佳选择。

修建高速铁路必须与我国的国情、路情特征相结合,这些特征的主要点有:

1. 我国铁路运输能力十分紧张,超负荷运行。修建高速铁路要与扩能这个中心紧密结合,充分发挥高速线与既有线的综合作用;将高速铁路作为路网建设的一个组成部分,从运输最繁忙的路段入手,由段到线,由线联网,分步实施。

2. 我国几条主要繁忙干线的客流统计表明,属于本线到发的旅客只占总客运量的1/3,直通转线的较多,约占2/3。

3. 旅客行程较远,而既有大的客运截流点较少。

4. 仅仅修建一段或一线难以发挥高速铁路的优势,需待成网后才能充分发挥其作用。

根据这些特征,我国建设高速铁路的规划是:

第一步,选定一条或几条既有线进行改造,以较少的投资、较短的时间能实现旅客列车时速达160km的准高速铁路,并在其中设置供高速列车运行的试验段,在积累经验的同时,为在我国大量的既有线进一步提高速度提供技术储备;

第二步,在21世纪初,建成第一条时速达250~300km的高速客运专线,以后再逐步发展。

规划的第一步已经实施,时速160km的准高速首先是在广州至深圳的铁路上实现的。

广深准高速铁路提速改造已于1994年12月22日建成通车。提速改造前广深铁路既有线的状况是:广州至深圳既有双线铁路全长146.7km,内燃牵引,最高允许速度110km/h,全线平均速度78.8km/h。 $R_{\min}$ 为400m,缓和曲线为三次抛物线。

1990年7月在广州召开的“广深铁路时速160km可行性报告论证会”。报告建议并经批准的准高速改造目标值为:客运最高速度160km/h,货车设计速度80km/h(本世纪内暂取70km/h),近期内燃牵引,远期电力牵引。并设有一段长20~30km/h高速试验段。

1991年3月,铁道部审查同意《广深线160km/h线路和200km/h试验段平、纵断面有关参数》,据此进行线路设计。

1991年5月,铁道部在铁科院召开“200km/h及以上高速铁路关键技术研究论证会”。建议我国高速铁路的长远目标值应定为250~300km/h,并首先在京沪线分段实施。

广深准高速铁路的三列准高速客车,分别由浦镇、四方和长春三家铁路工厂生产。

设有微机控制系统的准高速干线客运机车,初期采用DF11内燃机车过渡,机车的最高运行速度能达到时速170km以上。

规划第二步的实施,经许多专家论证,将在京沪线上实现。

京沪铁路全长1463km,行经北京、天津、上海三直辖市和河北、山东、安徽、江苏四省。沿线工农业总产值占全国的40%以上,人口占全国的30%,经济和社会发展超过全国其他地区,是全国最主要的经济带,人民的经济承受能力亦较高。尤以北京至天津、南京至上海两区段为甚,客货运量的增长和对运输质量的要求,亦均超过其他干线。而且京沪沿线平纵断面条件也较好,有利于节省工程投资、提高行车速度。

北京是我国首都,是政治、经济、文化、旅游及国内外交往的中心,又是全国最大的铁

路枢纽,通向全国各地的铁路干线有京哈、京广、京九、京包、京通、京秦、京承、京原和丰沙等方向,与公路、航空等其他运输系统紧密相联,组成综合运输枢纽,对内联系各省、市、自治区,对外与俄罗斯、朝鲜、蒙古等国开展了国际联运;旅游外汇收入亦居全国首位;首都都是中央党政机关和企事业单位的集中地,出差人员频繁,更有缩短旅行时间和改善乘车条件的强烈要求;世界上许多国家都以首都作为修建高速铁路的起点和中心,我国也应如此。不仅它本身意义深远,并可为在我国举办国际大型活动增添光彩。

上海位于华东地区的长江入海处,人口密集,大中城市星罗棋布,经济实力强,乡镇企业兴旺,国民生产总值、人均收入等均居全国的前列。上海南京间沿途人口 4520 万,每平方公里人口密度达 900 余人,大大超过法国高速铁路沿线每平方公里 410~480 人的密度水平。因此,在我国铁路主要繁忙干线中,选择先在京沪间修建高速铁路客运专线是必要的,也是可行的。1996 年 5 月,京沪修建高速铁路的预可行性研究报告已完成,正在论证中。该线建成后,还可根据需向北方的沈、大、哈,南方的杭、福、厦等地延伸,逐步形成全国高速铁路客运专线的新路网。

第二节 高速铁路的牵引动力和车辆

2—1 高速铁路的牵引动力

高速铁路是一项涉及面十分广泛的综合性系统工程,而高速牵引动力则是实现高速行驶车的重要技术关键之一,它要解决高速条件下的大功率,新的制动技术和车体外形减少空气阻力等问题。国外高速铁路初期的牵引动力,大多采用传统的电力或内燃机车牵引,但后来多改用电动车组牵引。我国广深准高速铁路目前采用东风 11 型内燃机车牵引,近期将对广深线再度改造加固提速,改用电动车组牵引,增加行车密度,减少编组和进一步压缩行车时分。

世界上已建成高速铁路的国家,对开行 200km/h 以上的高速列车,将速度分成三个速度级,即:

第一速度级——最高运行速度为 200~250km/h;

第二速度级——最高运行速度为 250~300km/h;

第三速度级——最高运行速度为 300km/h 以上。

列车速度从常规速度级(100~120km/h)提高到第一速度级,速度提高一倍而所需的总牵引功率需要增加四倍。一方面是因为牵引功率与运行速度成正比例,而更主要的是在高速情况下,列车单位阻力要比常速情况下大大增加的缘故。表 1 为部分国家开行的高速列车一览表。

表 1

国别	列车名称	列车总质量 Q(t)	V_{max} (km/h)	旅客定员 (人)	总牵引功率 N(kW)
日本	0 系列	967	210	1342	11 840
	100 系列	922	230	1321	11 040
	300 系列	740	270	1021	14 100
法国	TGV—PSE	550	250	485	6750
	TGV—A	490	300	485	8800
德国	ICE	820	280	950	9600
意大利	ETR450	550	250	485	6750

在牵引动力的选择上,电传动内燃牵引或电力牵引同样都能满足牵引高速列车的要求。内燃牵引投资少、见效快;电力牵引则初始投资大,但电力机车不必自带发动机和燃料,容易实现大功率、轻轴重;从能源来看,电力牵引所耗电能可来自火电(煤)、水电、核电等,来源广泛,有选择余地。国外大多使用电传动内燃牵引于尚未电气化的线路上,最终将采用电力牵引;而把内燃牵引作为发展高速铁路建设的一种过渡牵引形式,我国的广深准高速铁路也是如此。

电力牵引的高速列车可以采用传统的电力机车牵引型式,亦可采用动车或动车组牵引型式。由于动车的轴重小,对线路的破坏作用也小,因此,世界上大部分国家的高速列车采用了动车或动车组牵引。

机车牵引与动车或动车组牵引的区别不在于牵引动力数量的多少,它们的区别主要在于,机车牵引时,机车与它所牵引的客车不是固定编组的,一台机车可以挂上不同的车列。而动车牵引时,动车与客车是固定编组成一个列车,除特殊情况外,一般不能随意拆开。

机车牵引的主要优点是编组灵活,机车的利用率比较高,在某一机车出故障时可临时调用其他机车牵引列车,对运输无多大影响。但机车要适应不同的车列,它与客车的联接处难以做到平齐、接口光滑,因此高速行驶时空气阻力必然较大。德国曾以机车牵引和用两节动车组成的动车组牵引,牵引同一重量的一列车作过试验,当时速为 200km 时,动车组的功率消耗要低 28%,主要原因是空气阻力较小。

一列车中可以使用一个动车或多个动车牵引,也可全部车辆都是动车。日本东海道新干线的 0 系列电动车组,共 16 辆客车全部是动车。70 年代投入使用的 100 系列动车组,编挂 4 节无动力的拖车,动车数量减少为 12 节。而 90 年代新研制的 300 系列动车组,拖车数量增加到 6 节,动车减少为 10 节;意大利的 ETR—450 动车组有动车 10 节,仅有一节拖车;法国的 TGV—PSE、TGV—A、德国 ICE、意大利的 ETR—500 都只有二节动车分别编挂在列车的两端。意大利还为奥地利设计了 4012 系列动车组,为适应奥地利线路允许轴重较轻的特点,把动力控制设备分散在几辆车上,每个牵引单元由 3 节车组成,1 节带司机室的动车,1 节带变流装置的动车,1 节装主变压器和受电弓的拖车。列车的基本编组形式是二个牵引单元(6 节车),但根据需要还可另外加挂 1 至 4 节拖车。

动力分散的另一优点是牵引力和制动力(电阻制动或再生制动)分散在多个轴上,对粘着利用较好,允许牵引力和制动力较大,有利于起动、加减速和制动。适合车站多,站间距离较短的高速线路。动力分散的缺点则是制造和维修费用比较高,客车内噪声和振动较大。

2—2 高速铁路的车辆

高速客车一般可分两类:一是动力车,即带动力的客车,另一是非动力车,也叫拖车。动力车的客座部分和拖车与普通客车车厢一样,也是由车体、转向架(走行部分)、制动装置和车钩缓冲装置四个主要部分组成。不同的是上述各部位要具备良好的性能,都要能满足高速条件下安全运行的需要。

车体结构要耐腐蚀、轻量化、低重心、运行阻力小,密封性好、严格有效的防火措施、通风换气条件良好等。高速客车内都有空调。

车钩缓冲装置是使机车与车辆或车辆与车辆之间的连结装置,它传递和缓和列车在运行时所产生的牵引力或冲击力。我国现用客车车钩缓冲装置,即由车钩和缓冲器两部分组成的,只能适应 160km/h 以内的运行速度,不能满足更高速度的要求。国外新型缓冲装置采用纵向间隙小的密接性车钩,重量轻,缓冲器的行程也小,用以提高纵向平稳性。

2—3 列车制动

制动装置的作用是把列车的动能转换成其它形式的能量(通常是热能)并散发出去,从而使列车减速、停车。对于速度不高的普通客车,使用传统的压缩空气闸瓦踏面制动可以达到安全制动的要求。但随着列车速度的提高,需要在制动装置内转换并散发的热量急剧增加,时速超过 160km 的列车,仅仅依靠闸瓦制动已不能满足要求。高速列车的制动采用同时配置两种制动方式的综合制动装置。

制动方式分为:摩擦制动——通过机械摩擦来消耗列车动能,将动能转化为热能散发于大气。摩擦制动又分闸瓦制动、盘形制动和磁轨摩擦制动;动力制动——应用某种能量转换装置,将运行中列车的动能转换为其他形式的能量,如热能、电能,并予以消耗。动力制动有电阻制动、再生制动和电磁涡流制动等。

现将各种制动方式简述于下:

1. 闸瓦制动——是以闸瓦压紧车轮,通过车轮和闸瓦之间的机械摩擦产生制动力;
2. 盘形制动——用合成材料或粉末冶金制成的制动块(即闸衬)夹紧装在车轴上的铸铁或钢制动圆盘,通过制动块与制动圆盘之间的机械摩擦来消耗列车的动能,从而达到制动的目的;
3. 磁轨摩擦制动——利用装在转向架上的制动电磁铁,经通电励磁后吸压在钢轨上,制动电磁铁在轨面上滑行,利用其与钢轨之间的机械摩擦来消耗列车的动能;
4. 电阻制动——利用牵引电动机的可逆性,将轮对的转动,带动牵引电动机使其转

为发电机工况运行,将列车的动能与位能转变为电能,并将其消耗在制动电阻上转变为热能向大气散发;

5. 再生制动——再生制动的原理和电阻制动相似,只是不将电能消耗在电阻上,而是将它反馈到供电系统,可节约大量电能;

6. 电磁涡流制动——它与磁轨制动相似,也有一个较大的电磁铁,通过电磁铁和电磁感应体相对运动,将列车的动能转换成电磁涡流并生热能散发,达到制动的目的。

表 2 为国外部分高速列车采用制动方式表。

表 2

国 别	列车名称	制动方式		投入运行 年 份
		动 车	非动车(拖车)	
日本	0 系列	电阻+盘形		1964
	100 系列	电阻+盘形	电磁涡流+盘形	1985
	300 系列	再生+盘形	电磁涡流+盘形	1991
法国	TGV---PSE	电阻+闸瓦	盘形+闸瓦	1983
	TGV---A	电阻+闸瓦	盘形	1989
德国	ICE	再生+盘形	电磁涡流+盘形	1991
英国	APT	盘形+闸瓦	盘形	1989
意大利	ETR500	再生+盘形	盘形	1992

为防止在列车制动时,个别车轮被抱死而产生滑行,国外高速客车上装设了防滑器。当某一轮对被抱死而滑行的瞬间,该轮对的减速度大大超过全列车的减速度,即滑行的车轮与其他滚动的车轮有一个很大的速度差,防滑器就能通过车轮检测传感器检测出此减速度或速度差,再将检测信号传输给控制装置,使滑行的车轮迅速缓解,待滑行停止而恢复正常转动后,制动力就能自动恢复。

列车从施行制动起到整个列车停这段时间内要走行一段距离,叫制动距离。表 3 为日本和法国两种高速列车制动距离的试验数据。

表 3

列车名称	V(km/h)		距离(m)			
	300	270	250	220	210	160
日本 100 系列(动力分散)			2950		1950	1050
法国 TGV-A(动力集中)	3500	2700		1700		900

制动距离的大小,影响地面信号机的分布乃至线路纵断面设计,我国规定列车紧急制动距离按不同情况分别不超过表 4 的规定。

表 4

列车种类	最高速度(km/h)	制动距离(m)
货物列车	90	800
旅客列车	120	800
	140	1100
	160	1400
	250	2700

第三节 高速铁路的通信信号设备

3—1 现代铁路的通信技术

现代铁路运输是一个大的系统工程,各部门间相互联系和协调都要依靠现代化的通信技术,以往我国铁路通信是以模拟通信为主,改革开放后,引进大量先进的通信技术和设备,逐步以数字通信取代模拟通信。现代铁路通信必须满足下列三方面的要求:

1. 保证指挥列车运行的各种调度命令的及时准确的传输。例如每次列车都必须严格按运行图和调度员的指挥命令行车。

2. 为旅客提供各种服务的通信。例如预售客票、站内向导、自动回答旅客问询等。

3. 为设备维修及运营管理提供通信条件。例如线路维修人员和站内调度的联系等。

国外高速铁路线上,除与列车运行调度有关的各种通信外,还增加了许多通信设备,其中和工务有关的行车安全方面的通信有:

1. 沿线发生异常情况时,能通知列车紧急停车的无线防护通信装置。

2. 设置在沿线变电所或供电区分所的地震检测站,日本东海道等四条新干线共设置 87 站,在站内装有两种地震仪,一种是用于中等强度,另一种是用于剧烈地震。当任一种地震仪有反应,与其连接的电路开关就会中断列车运行的电源;电源切断后,列车紧急刹车,自动停止运行。

3. 设有养路工区的雨量报警装置。

4. 设在大桥附近的河川水位报警装置。

5. 设在强风地点的风速监测装置;在日本,影响列车安全行驶的主要是台风和季风,台风风速一般是 $20\sim 40\text{m/s}$,少数可达 50m/s 是允许的安全极限,在此限内列车就不会被吹翻。新干线规定风速 $20\sim 25\text{m/s}$,列车速度在 160km/h 以内; $25\sim 30\text{m/s}$,列车速度 70km/h 。风速超过 30m/s 时,列车停止运行。风速信息传递给最近的车站并自动记录下来。当风速超过 20 、 25 、 30m/s 时,分别发出三种不同信号,并在车站和地区控制中心响警报。控制中心接到信号后,指示 ATC 发出关信号,并用无线电通知机车司机,采取相应的措施。

6. 积雪监视装置。

7. 长钢轨温度报警装置。

8. 重点滑坡报警装置等。

通信系统还将和其他系统相结合形成统一的自动信息系统,例如:

1. 通信系统与信号系统和列车自动控制系统结合,形成统一的列车运行自动控制信息系统,并使之达到高度可靠和稳定。

2. 通信系统与运营管理计算机结合起来,形成统一的运营管理信息系统,以满足各种提高服务效率和改善服务质量的要求。

3. 充分运用现有各种先进的通信技术,如光纤通信、程控交换、卫星通信、无线电话等,并为未来技术的发展留有余地。

3—2 高速铁路的信号与控制系统

信号设备是铁路信号、联锁和闭塞的总称。为了适应运输向高速度,高密度发展的需要,应用现代微电子技术、计算机技术和数据传输技术的成果,高速铁路信号与控制系统得到飞速发展。尤其是微机的引入,能充分发挥其速度快、存储量大、软件灵活的特点,大大扩展了铁路信号的功能,提高了自动化程度,有很高的安全性、可靠性。先进列车控制系统(ATCS)是铁路在技术上的一次突破,它将使铁路和整个国民经济取得巨大的经济效益。

一、车站联锁

联锁是用来保证站内行车及调车作业安全,提高车站通过能力的车站信号设备。我国多数车站采用的是电气(继电)集中联锁。随着微机的迅速发展和广泛使用,出现了微机联锁。它是应用工业控制微机和一套专用的软件来实现车站的信号、进路、道岔间的联锁。它把车站值班员的控制命令和现场的各种表示信息输入微机,再根据储存在微机内的有关联锁条件,进行逻辑运算和判断,输出信息,完成对信号机、道岔及进路的联锁和控制。

微机联锁与电气集中联锁的主要区别在于:用程序完成全站联锁关系;控制和表示信息都由传输通道串行传送;可节省大量干线电缆;用屏幕显示,体积小,使用方便;积木式的模块化硬件和软件结构,便于站场变更,并容易实现故障检测、分析等功能。

微机联锁充分利用计算机速度快、容量大的特长、能方便地实现自动控制功能。它可以扩展诸如自动选路、储存进路、运行图变更时自动选择最佳方案、站内行车管理等电气集中联锁无法完成的功能。它的自监功能能及时发现故障,确定故障位置。

微机联锁用计算机程序代替成千上万台继电器,只保留少数接口继电器,节省了所占空间、大量器材和许多配线,有利于设计、施工,降低了工程造价和电力消耗。

微机联锁,无论其安全性、可靠性、经济性、多功能性方面,与电气集中联锁相比,均具有独特的优点,技术经济效益非常明显。

二、区间闭塞

区间自动闭塞在普速铁路上采用三显示制,灯光用红、黄、绿(R、Y、G)表示,它是用

轨道绝缘节来划分轨道电路的分区的。由于绝缘节给线路带来不利影响,并且当绝缘损坏后,还会造成行车的不安全因素。因此国外成功地研制了无绝缘多信息轨道电路及四显示自动闭塞,以满足高速铁路多信息,高可靠的要求。

法国铁路 TGV 东南高速线采用的列车速度控制系统,按固定闭塞制调整列车运行间隔。机车上装有带速度监督的 TVM300 型连续式车内信号装置;地面设备分别通过 UM71 型无绝缘轨道电路和回线装置向列车发送连续式信号和点式信息。地面可不设信号机,仅在闭塞分区分界点设界标。机车信号为主体信号。机车司机完全根据车内信号装置显示的数字式速度信号驾驶列车运行。速度监督为阶梯控制方式(图 1)向司机提供闭塞分区入口端的允许速度和出口端的目的速度,要求列车在分区的出口端必须保护保持或降到此目的速度值以下;速度监督设备不干预机车司机的正常操作。当司机违章操作,列车速度超过规定的允许速度时,自动施加最大常用制动。这种最大常用制动是可逆的,一旦列车速度降低到线路允许值以下时,司机用按钮确认后即可缓解。图 1 为法国列车运行自动控制(ATC)的运行曲线。

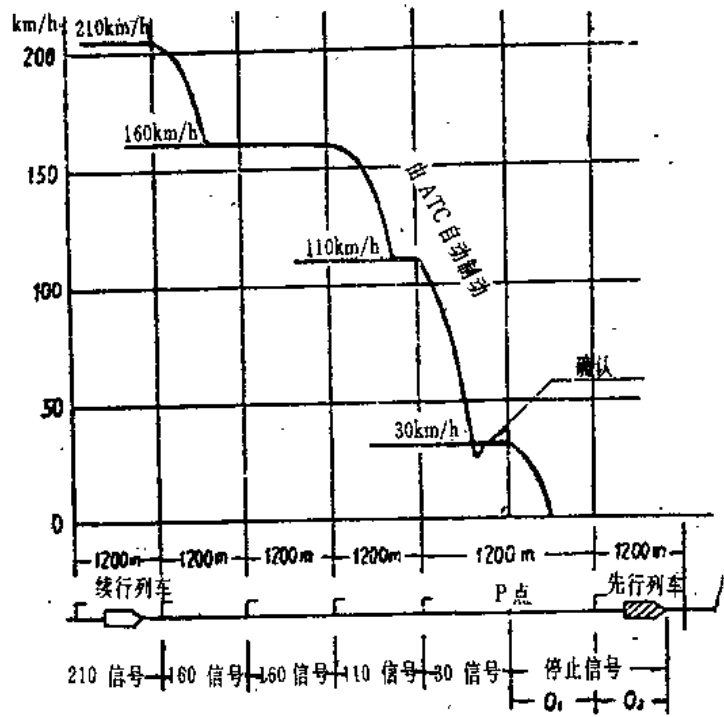


图 1 ATC 设备控制的运行曲线

广深准高速铁路自动闭塞是在引进法国 UM71 和 TVM300 的基础上,结合广深准高速铁路的实际情况设计的。在广深线上牵引准高速客运列车的 DF11 内燃机车上装有 M10 运行自动记录仪和 TVM300 带速度监督的机车信号装置。广深准高速铁路既要跑时速 160km 的准高速客车,还要跑时速 120km 的普速客车和时速 80km 的货物列车,各列车速度等级分为:准高速客车 160—135—100—0km/h;普速客车 120—90—0km/h;货

物列车 80—60—0km/h。广深因要混跑普速客车和货车,因此保留地面信号机,不改变原有区间三显示信号机构,只是增加一种绿黄显示(GY),成四显示自动闭塞。图 2 为广深区间信号显示方式、信息码及速度监控线。设两个红灯防护,列车占用区段为第一红灯,保护区段为第二红灯,即当司机在 01 码区段的红灯信号机前,因失误,司机操作未停住列车时,超速防护装置立即自动启动制动系统,强迫列车在保护区段内停住列车(图中分式的分子代表普速客车监控速度,分母代表货物列车的监控速度)。

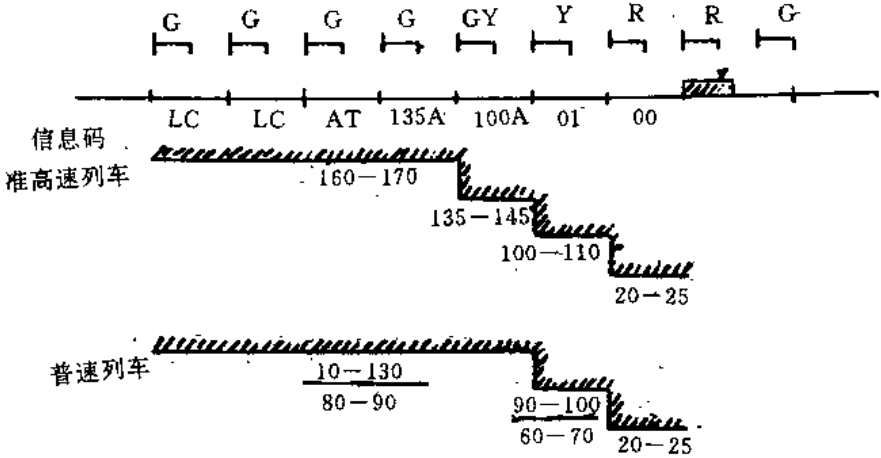


图 2 区间信号机显示方式、信息码及速度监控线

第四节 车站及客运服务

4—1 高速铁路车站设置

铁路运输组织工作,必须合理利用运输能力,保证行车安全正点。

高速铁路现有三种运输组织模式:

1. 高速客运专线上只跑停站不同的高速列车。运输组织工作比较单一,以日本新干线为代表。

2. 将高速旅客动车组列车延伸到普速线路上去,法国的 TGV 高速列车在专线上高速运行,又原列车延伸到普速线路上,按普速线路允许速度运行,一般最高亦可达 160~220km/h,巴黎——里昂 TGV 东南线全长 417km,包括延伸到普速线路的 TGV 列车运行里程全程 2560km,这样组织运行,大大缩短旅行时间,能吸引到大量的客流。

3. 高速线上各种速度的客货列车混跑;这是德国和意大利采用的运输模式,我国广深准高速线目前也属于这一模式。

根据实际需要,也可初期采用客货混跑的第 3 种模式,后期采用第 2 种模式。

采用第 1、第 2 两种运输模式的高速线上的车站设计与客货列车混跑线上的车站设计是不同的。高速客运专线上车站的候车室面积不用很大,因为旅客在车站不必长时间等

候,基本上可以随到随走;为方便旅客乘降,又不使停站过多而影响旅行速度,停车站之间的距离一般定为最少 25km,最大可达 200km,符合乘坐高速线中、长途旅客较多的特点,日本东海道新干线站间平均距离为 43km,而法国巴黎至里昂 TGV 东南线为 142km。站上基本没有调车作业,股道很少,有的甚至除上、下行两条正线外,不再设到发线或越行线,类似普速铁路上的旅客乘降所。

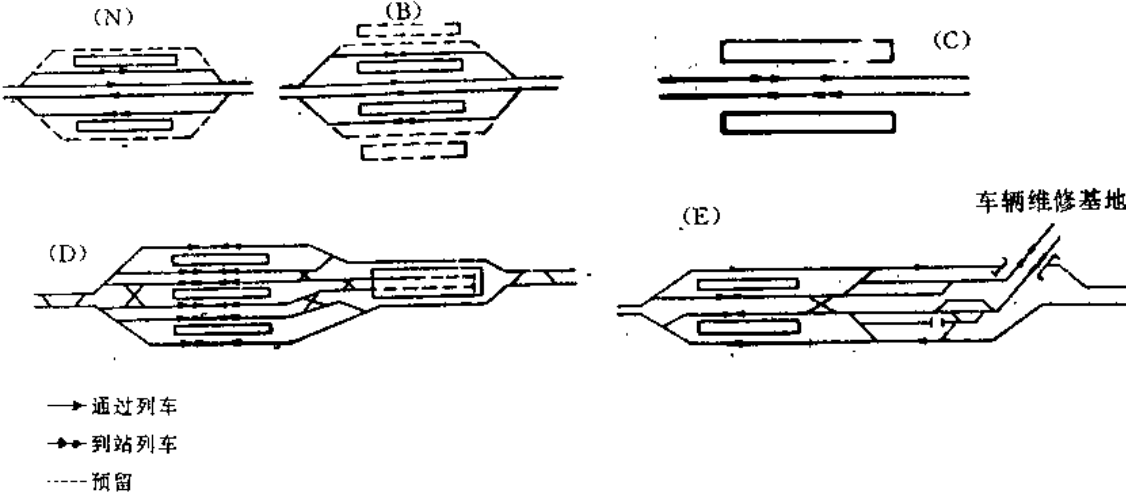


图 3 高速客运专线车站布置图

高速客运专线全部通行旅客列车,车站布置图及其配线比较简单。图 3 为几种常用的车站布置图。一般均按(A)、(B)图设计;如地形困难,无法布置站线且停站次数不多,也可按(C)图设计,但影响通过能力甚大。除始发、终到列车或折返列车较多的中间站需要较多的配线外,一般的中间站除正线外,上、下行各设一条站线。但考虑到发生事故时的运行调整、故障车的停留、维修车辆的进出等,也有各设两条站线的。(D)、(E)为始发、终到客运站的布置图。站台边缘到有通过列车的中心线为 1800mm,否则取 1760mm。高速列车通过时对站台的气流压力,越靠近站台边缘压力越大,列车头部和尾部的压力大于中间。当速度在 160km/h 以下时,气流的威胁较小,而当速度在 160~200km/h 时,人在距站台边缘 1.2m 是危险的,所以安全距离定为离站台边 2.0m,并在离站台边缘 2.0m 的地方设置防护棚隔离。站台应设在到发线一侧,尽量避免正线沿站台边缘通过。

4—2 客运服务设备

高速客运专线的客运服务设备,应保证旅客与车站工作人员的安全,高质量地为旅客服务,使旅客能迅速、方便地办理旅行手续,舒适候车、安全乘降、顺利集散;组织好行包的承运、装卸、中转、保管和交付等业务;完成列车的到发、车列转线、改编、清扫、消毒及整备等作业。

高速客运站由站舍、站前广场和站场三部分组成。日本国铁帮助美国设计的高速线,一个中间站,起码要保有 1200~2000 台位的小汽车停车场地,在起步规划时要为今后发展留有余地。

提高客运服务中的自动化程度,既能提高工作效率,又可为旅客提供方便、舒适的旅行条件,自动化客运服务项目,包括客票预售、自动售票、自动检票、车站通告、问讯、行包托运等。自动售票机可以由旅客自行按钮操作、投币、收款找零、印制客票;自动检票装置设在客运站进出口处,由检票机和控制装置组成;车站通告有采用计算机控制的广播和预告牌两种方式;问讯多采用电视问讯设备。

行包分拣自动化、节省了人力,提高了工作效率,又减少等候时间,方便旅客。

第一章 高速铁路的线路设计

高速铁路的技术标准,包括选线参数,高速轨道结构型式及其成套技术,路基的动力强度,桥梁结构的动力性能和疲劳可靠度,隧道内高速行车的空气动力学效应,轨道检测和轨道管理,以及振动,噪音对周围环境的影响,都是高速铁路成功运营所必须解决的关键课题,也是高速铁路需要投入高新技术的重要方面。现就高速铁路线路设计有关问题分述于后。

第一节 圆曲线半径

1—1 曲线半径与行车速度的关系

列车通过曲线时允许的最大速度为

$$V_{\max} = K \sqrt{R} \quad (\text{km/h}) \quad (1-1)$$

式中 R ——曲线半径(m);

K ——系数,由线路结构、机辆设备、行车安全、旅客舒适度而定,我国 K 值取 4.30;日本东海道新干线取 4.22、山阳新干线取 4.50。

由式(1-1)可知,要实现列车高速化,必须大幅度提高最小曲线半径标准。

1—2 曲线外轨最大超高、欠超高和过超高

1. 理论超高公式

根据运行列车受力条件得出曲线外轨理论超高 h 的计算公式

$$h = 11.8 \frac{V^2}{R} \quad (\text{mm}) \quad (1-2)$$

式中 V ——列车在该曲线上运行速度(km/h)。

按照理论超高值设置曲线外轨超高,刚好提供列车在该曲线上作圆周运动所需的向心力,使两侧钢轨承受同等压力,钢轨侧面磨损最小,列车运行亦安全平稳。但实际上一条线路上各种列车运行速度往往不一致,尤以客货混运线路为甚。因此实际设置的超高($h_{\text{实}}$)常常介于按客车运行速度所需超高值和按货车运行速度所需超高值之间,这样就出现欠超高 $h_{\text{欠}}$ 和过超高 $h_{\text{过}}$ 。

2. 最大实置超高值的确定

日本修建东海道新干线后,又相继修筑山阳、东北、上越等新干线,累计已达 1800 多 km,对最大实置超高的选定,作了大量观测、试验。主要考虑下列三方面的因素:

(1)列车在曲线上停车或低速运行时,对旅客舒适度的考虑。测试表明,超高达200mm时,仍可满足舒适度要求。

(2)列车在曲线上停车或低速运行时,曲线外侧风力使车辆向内侧倾覆以及高速运行时,可能向外侧倾覆的安全问题。以实置超高取200mm进行计算,得出的倾覆临界风速为34.6m/s,此值已超过十二级台风风速32.6m/s,较为罕见,因而,实置超高达200mm是可允许的。

(3)线路维修和养护。当超高大于200mm时,道床边坡坡度变陡,易于溜坍,难于保持道床正常的断面,增加维护作业量。

根据上述三因素,各国高速线采用实置超高都不超过200mm,客货混运线的最大实置超高一般采用125~180mm。我国对高速客运专线最大实置超高的初步研究,建议京沪高速铁路线路允许的最大超高值为150mm,广深准高速铁路的最大超高值亦定为150mm。

3. 欠超高 h_x 的采用值

超高 h 和横向加速度 a 的关系式:

$$a = \frac{h}{153} \quad (1-3)$$

式中 h ——超高值(mm);

a ——横向加速度(m/s^2)。

因欠超高而产生的未被平衡横向加速度 a_H 为

$$a_H = \frac{h_x}{153} \quad (1-4)$$

确定欠超高采用值时,主要从下面两个方面考虑:

(1)旅客舒适度

试验表明:当欠超高为80mm时,旅客有轻微感觉,当欠超高为120mm时,旅客有明显不适感觉。

(2)线路养护方面的考虑

当有欠超高存在时,增大外轨侧磨,使轨道变形,助长脱轨危险。

日本的高速线都为新客运专线,考虑上述两个方面因素,采用较小的欠超高值。东海道新干线取用60mm,进一步提速后用90mm。而英、法、前苏等国则采用100~130mm。

广深线系客货混运的既有线改造,如按《铁路线路维修规则》规定,一般情况下75mm,特殊困难90mm,将使 R_{min} 值过大,改造困难,投资增大。因此铁科院建议广深线欠超高采用如下标准:一般情况90mm,困难110mm。而铁科院对京沪高速铁路线路允许的最大欠超高值建议:一般地段90mm,困难地段110mm。

未被平衡横向加速度 a_H 还与车辆重心高度有关。重心低的车辆可采用较大值、动车组的重心较一般车辆低,故可用较大值。

4. 过超高 $h_{\text{过}}$ 的采用值

过超高的危害:(1)货物位移;

(2)增加内轨垂磨。

过超高的危害性大小与通过低速列车的总重成正比例,因此客货混运线上,过超高的

危害不能忽视。

国际铁路协会 1971 年拟定的过超高最大值表(1—1),是由每日通过曲线的货物列车总重确定的。

表 1—1

每日通过曲线的 货物列车总重(t)	$h_{\text{过}}$ 最大值 mm	
	$V \leq 160\text{km/h}$	$V > 160\text{km/h}$
$> 60\,000$	30	30
$30\,000 \sim 60\,000$	50	30
$15\,000 \sim 30\,000$	70	50
$< 15\,000$	90	50

铁科院时速 160km 铁路曲线专题组 1978~1980 年对我国既有铁路进行了广泛的调查分析,结论是:过超高控制在 20mm 内,内、外轨磨耗比较均匀;30~50mm,对钢轨磨耗和维修工作量影响不大;达到 90mm,亦能保证正常行车安全要求。所以广深准高速铁路线路要求未被平衡过超高不得大于 50mm。而对京沪高速铁路线路允许的最大过超高的建议:一般地段 75mm,困难地段 90mm。

1—3 最小曲线半径

1. 客运专线的 R_{min}

客运专线多行驶同类型的机车车辆,列车速度比较划一,实置超高与理论超高比较接近。

已知 $h_{\text{实}}$ 、 $h_{\text{欠}}$ 和 V_{max} ,可用下式求 R_{min}

$$R_{\text{min}} = 11.8 \frac{V_{\text{max}}^2}{h_{\text{实}} + h_{\text{欠}}} \quad (\text{m}) \tag{1—5}$$

式中 V_{max} ——该曲线上最高行车速度(km/h)。

2. 客货混运线的 R_{min}

要满足下列两式:

$$h_{\text{实}} + h_{\text{欠}} = 11.8 \frac{V_1^2}{R_{\text{min}}} \tag{1—6}$$

$$h_{\text{实}} - h_{\text{过}} = 11.8 \frac{V_2^2}{R_{\text{min}}} \tag{1—7}$$

上两式消去 $h_{\text{实}}$ 得

$$R_{\text{min}} = 11.8 \frac{V_1^2 - V_2^2}{h_{\text{欠}} + h_{\text{过}}} \quad (\text{m}) \tag{1—8}$$

式中 V_1 、 V_2 ——旅客列车和货物列车速度(km/h)。

例题:当 $V_1 = 160\text{km/h}$, $V_2 = 80\text{km/h}$, $h_{\text{欠}} = 90\text{mm}$, $h_{\text{过}} = 60\text{mm}$ 时

$$R_{\text{min}} = 11.8 \frac{V_1^2 - V_2^2}{h_{\text{欠}} + h_{\text{过}}} = 11.8 \frac{160^2 - 80^2}{90 + 60} = 1510.4\text{m}$$

可取 1600m。

广深准高速线最小曲线半径表(m) 表 1—2(A)

V(km/h)	一 般	困 难	个 别
160	1600	1400	
200	3000	2600	2200

铁道科学研究院通过计算,对京沪高速铁路线路最小曲线半径的建议值见表 1—2 (B)。

3. 可倾车辆

英、法、德、意等国为节省投资,都在研制利用旧线改造,设计制造可倾车辆,此时

$$R_{min}=11.8 \frac{V_{max}^2}{h_{\text{实}}+h_{\text{空}}+\Delta h}$$

(1—9)

式中 Δh ——可倾超高,一般规定为 80~115mm

京沪高速线最小曲线半径表(m) 表 1—2(B)

项 目			一 般		困 难	
			计算值	建议值	计算值	建议值
[h] (mm)			150		150	
[h _空] (mm)			90		110	
[h _实] (mm)			75		90	
R _{min} (m)	高速客车	250km/h	3100	3500	2600	3000
	中速客车	140km/h				
	高速客车	350km/h	7000	7000	5800	6000
	“中”速客车	160km/h				

英国设计 9° 倾车,在 R=1180m 曲线上,行车速度可达 200km/h;在 R=1800m 曲线上,可达 250km/h。

广深铁路除 K40—K66+200 一段作为时速 200km 的试验段外,其余均按时速 160km 准高速要求设计,若今后全线进一步提速较高,比如 250m/h 或 300km/h 时,现有曲线半径将远远达不到要求,这就有可能采用可倾车辆。

国外一些高速铁路的 R_{min}及超高值 表 1—3

国 别	日		法	德	意	苏
线 别	东海道 新干线	山 阳 新干线	巴黎至 里 昂	汉诺威至 维尔茨堡	罗马至佛 罗伦萨	莫斯科至 列宁格勒
长度(km)	515	554	426	327	260	650
运输性质	客	客	客	客、货	客、货	客、货
建成时间	1964	1975	1983	1991	1988	1968
客车最高 速度(km/h)	210	260	250 300	200	250	160
货车最高 速度(km/h)				80 100	80	80
R _{min} (m)	2500	一般 4000 困难 3500	一般 4000 困难 3200	7000	3000	1200