

高速铁路列车运行图结构特征分析

占 勇, 马 驷

(西南交通大学 交通运输与物流学院 四川 成都 610031)

摘要:以现有的高速铁路列车运行图资料为基础,通过对京沪线、武广线两条长大干线和京津、沪宁、沪杭三条城际客专的列车运行图结构特征及其在时间轴上的分布进行统计分析,说明列车的速度等级、停站情况、A、B类列车的开行比例以及旅客列车在时间轴上的分布特征,分析了列车出发间隔时间服从的分布规律,对高速铁路通过能力计算方法以及客运产品设计提出了新要求。

关键词:高速铁路;列车运行图;结构特征

中图分类号: U292.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)02-0101-05

随着我国多条高速铁路开通运营,高速铁路的列车运行图编制优化方法从理论变为实践,列车开行方案也在实际运输中不断优化以适应不同旅客的运输需求。A、B类列车与跨线列车在高速铁路线上的混合运行,丰富了运输产品的同时也让列车运行图的结构发生了较大的改变,通过对2011年10月实施的京沪、武广、京津、沪宁、沪杭五条高速线的运行图资料进行统计分析,研究高速铁路运行图的结构特点和规律,为高速铁路通过能力计算方法以及客运产品设计提出新的要求。

1 高速铁路运行图结构特征统计

1.1 列车的种类及开行数量

现阶段我国高速铁路采取不同速度等级列车混跑模式运营。将最高运行速度为300 km/h及以上的列车定义为A类列车,最高运行速度为300 km/h以下的列车定义为B类列车。对列车运行图进行初步统计,其列车种类和数量见表1,除京津城际以外,其余的高速线上A类列车的开行比例都超过了50%,最高的武广线上A类列车达到了81.7%,最低的沪杭线上A类列车比例也达到了55.2%。为满足不同的客流需求,长大干线与城际客专需开行一定数量的全程不停站的直通列车。京津城际由于速度高、旅程短,直通不停站列车的开行比例达到80%,沪杭、沪宁城际客专直通列车的开行比例分别达到了13%和6.6%,而长大干线上直通列车的开行比例较低,京沪线与武广线上只有0.6%和2.5%。在开行的直通列车中,A类列车与B类列车所占比例有较大区别,长大干线上A类列车开行全程直通不停站列车比例极低,而城际客专中开行的A类全程直通列车都超过了80%。

如表1所示,长大干线与城际客专在区间能力利用率方面没有太大区别,能力利用率最好的是沪宁客专,最差的为武广线。武广线能力利用率低在于其开行的列车数量较少,这与其客流结构和线路经过地区经济发展相关,武广线经过湖北、湖南、广东三省,除广东外,其余两省经济发展不如沿海地区,客流特征较多的为商务流,其他客流数量较少;而沿海地区的沪宁客专出商务流外,学生流、探亲流、旅游流等客流数量也相当大,开行的列车数量也相应的增多。

1.2 长大干线中间站的服务频率

长大干线中间站的服务频率体现在通过中间站的列车在本站的停站情况,从统计数据来看,京沪线上中间站的平均服务频率为24.93%,武广线上中间站的平均服务频率则为42.5%,两条干线上中间站的

收稿日期:2013-01-14

作者简介:占勇 男 1985年出生 硕士研究生

服务频率与时间段相关,晚高峰期间中间站服务频率比其他时段较高。

表 1 列车的种类及数量

线路	列车种类	数量/列	能力利用率/%
长大干线京沪线	A 类	133	25.25
长大干线京沪线	B 类	69	25.25
长大干线武广线	A 类	134	20.5
长大干线武广线	B 类	30	20.5
城际客专沪宁线	A 类	166	26.63
城际客专沪宁线	B 类	47	26.63
城际客专沪杭线	A 类	100	22.63
城际客专沪杭线	B 类	81	22.63
城际客专京津线	A 类	199	24.88
城际客专京津线	B 类	0	24.88

1.3 列车的停站率

城际客专与长大干线上的旅客列车的停站率有较大差别。沪杭、沪宁、京津 3 条客专上的平均停站率分别为 12.8%、23.1%、5%,武广和京沪的平均停站率为 37.7%、26.2%,只有京津和沪杭两条线上的停站率低于 20%,其他 3 条线上均高于 20%,而且停站率随着运行距离的增加而增加。

1.4 追踪列车间隔时间

在高速铁路的统计区段 250 km/h、300 km/h 列车之间速差较小,同一条线路均采用统一的追踪列车间隔时间标准,不同线路的追踪间隔时间有区别,一般为 3~6 min。列车不同作业的间隔时间则与列车的运行速度等级有关。A 类列车的到达、通过间隔时间为 3 min,始发列车与通过列车的间隔时间为 5 min; B 类列车中,始发列车与通过列车的间隔时间标准为 4 min,到达列车与通过列车的间隔时间为 2.5 min,其余的不同作业间隔时间均为 3 min。

2 列车在时间轴上的分布

2.1 长大干线与城际列车在时间轴上的分布

如图 1 和图 2 所示,列车运行的时段在 5:00~23:00 之间,这段时间是列车运行的有效时间。长大干线列车运行的有效时间的终止时间随着线路里程的增加而提前,这与其开行时间有关,长大干线列车开行时间较长,到达终点站的时间不宜过晚,应与终点站所在地的城市公交出行规律相符合。而城际列车有效时间的终止时间则比长途列车更早,基本在 21:00 左右就结束,这也符合短途客流较多为城市圈内出行规律,能适应不同旅客商务出行。

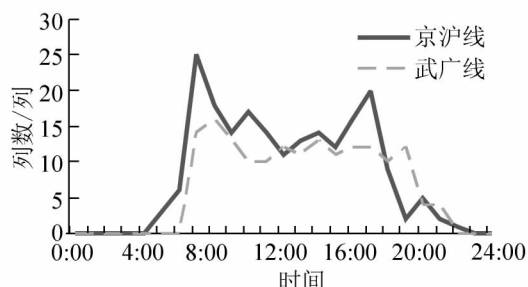


图 1 长大干线列车在时间轴上的分布

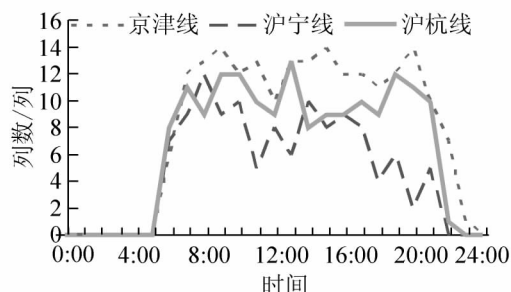


图 2 城际列车在时间轴上的分布

2.2 A、B 类列车的分布

A 类列车与 B 类列车在时间轴上分布,其波峰与波谷有一定差别。B 类列车数量少,但在早、中、晚 3 个高峰期的分布特征明显,而 A 类列车只在早、晚高峰分布特征明显,午高峰时段分布特征弱化。B 类列车的开行主要是针对短途旅客的出行需求,在北京和上海两个地区经济发达,商务活动频繁,早高峰时段短途列车的开行,在时间上能满足旅客到达目的地后进行商务活动;而晚高峰时段短途列车的开行则能满足部分旅客活动之后返回的需求。

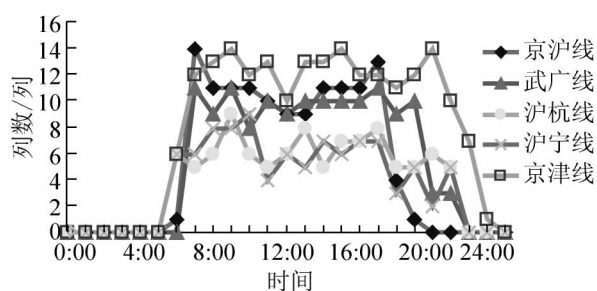


图3 A类列车在时间轴上的分布

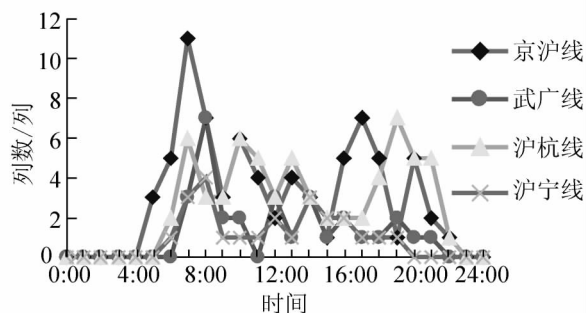


图4 B类列车在时间轴上的分布

2.3 高峰时段与平峰时段

列车密集出发的高峰时段一天中会出现3次,分别为早、中、晚3个高峰时段。早高峰一般均出现在7:00~9:00之间,持续时间约2h;中高峰时段出现在11:00~14:00之间,一般持续1h;晚高峰时段出现在18:00左右,持续时间约3h。长大干线上的早高峰时间比城际客专要早,而与早高峰比较,长大干线上晚高峰列车密度较小,高峰特征不明显,这与该时段“夕发朝至”长途列车数较多有关。由于两线全程运行时间都在4~5h,18:00以后开行的直通A类列车终到时间较晚,不符合旅客出行规律,造成运行图冗余时间较多,线上通过能力浪费较多。中高峰特征明显,发车频率较高,最密集时段,京沪线上海虹桥站每小时有8列车出发,由于两线全程运行时间都不足6h,中高峰发车密集,能满足旅客“朝发夕归”的需求,更好的提高服务质量。

各站在运营时段均存在间断性的小“天窗”时段,京沪线上11:00~13:00和武广线上的11:00~12:00均出现了没有B类列车开行的小“天窗”。平峰时段集中在18点以后,两条高速线上在19点以后运行的列车数量极少,从A、B类列车的分布情况看,19点以后出发的A类列车数量急剧减少,线上能力冗余,但是B类列车开行数量并没有增加,导致晚间短途客流的流失。

3 出发列车密度的分析

3.1 出发列车的密度

由于A类列车与B类列车速差不是很大,将其按照同种列车进行统计,扣除各线的天窗时间4h,并把各站从早上5点之后第一列始发列车时刻作为统计的起始时间,把21点左右最后一列出发列车时刻统计的终止时间,运用概率统计的相关方法,计算得出各站出发列车的平均间隔时间及其均方差值和变异系数^[1],如表2所示。

京沪线上两端枢纽站的高峰时段平均发车间隔时间均不足10min,基本可以满足旅客随到随走的需求,能够较好的吸引客流。而在城际客专上,平均发车间隔为13min,平均发车间隔时间要大于长大干线上的发车间隔时间。

出发列车的密度随着列车运行速度的提高而增大,并随着运行时速300km/h的列车占行车量比例的增加而显著增大。沪杭、沪宁的出发列车密度明显小于京沪和武广,而京沪、武广线上出发列车的密度则明显小于京津线。

不同统计时段出发列车间隔时间差异性较大。有效时间段与18h理想时段(6:00~24:00)的列车平均间隔时间相比,理想时段的平均间隔时间更大。各线枢纽站出发列车的平均间隔时间都不足20min,维持在10~16min之间,基本达到了“公交化”的开行要求,各线随机到站旅客基本能够随意选择这些列车,发车间隔能满足高速铁路旅客的出行需求。

3.2 出发列车平均缓冲时间

城际客专与长大干线上出发列车的平均缓冲时间^[2-3]如表2所示,从缓冲时间的均值来看,同一条线路上不同始发站的缓冲时间相差较大,这与追踪列车运行的数量和在时间轴上的分布相关。缓冲时间值较小,高速铁路运行图的弹性^[4]较小,出现非正常情况时,运行图的调整涉及范围大,在高峰时段,运行中

的微小干扰很容易引发列车大范围的延误。

表 2 出发列车时间间隔与平均缓冲时间统计

线路	车站	均值	方差	变异系数	平均缓冲时间/min
城际客专沪杭线	上海虹桥	10.69	31.09	0.52	7.69
城际客专沪杭线	杭州	16.38	57.73	0.46	13.38
城际客专沪宁线	上海虹桥	16.71	58.02	0.46	13.71
城际客专沪宁线	杭州	14.80	62.22	0.54	11.80
城际客专京津线	北京南	10.27	23.60	0.47	7.27
城际客专京津线	天津	9.90	20.19	0.45	6.90
长大干线京沪线	北京南站	11.40	53.32	0.64	8.40
长大干线京沪线	上海虹桥	10.60	36.05	0.57	7.60
长大干线武广线	武汉站	16.50	25.94	0.31	13.50
长大干线武广线	广州南站	11.00	33.92	0.53	8.00

3.3 出发列车时间间隔分布规律

出发列车时间间隔是同一线路运行的两相邻列车在同一车站的出发时间间隔标准。在高速铁路的运输组织中,出发列车时间间隔由列车运行图确定。京津线上两端车站出发列车时间间隔基本上都为 5、10、15、20 min,属于离散型概率分布,其余 4 条高速线不同车站出发列车时间间隔的频数分布具有偏态的特征,因此采用对数正态分布能更适合的描述时间间隔的分布规律,将其余 4 条高速线上不同车站的时间间隔数值先取对数,然后运用 MATLAB 编程进行正态分布检验,其 $K-S$ 检验结果如表 3。

取显著性水平 $\alpha = 0.05$,由表 3 可知,除京沪线两车站的检验值小于 0.05 外,其余 3 条线的检验值 P 均大于 0.05,即武广线、沪杭线、沪宁线的出发列车时间间隔的对数服从正态分布,则时间间隔服从对数正态分布。但是京沪线的检验值非常接近 0.05,可近似认为两站出发列车时间间隔也服从对数正态分布。

表 3 正态分布 $K-S$ 检验值

线路	车站	均值	方差	检验值
京沪线	北京南站	2.2667	0.567 19	0.000 666
京沪线	上海虹桥	2.207	0.550 84	0.001 056
武广线	武汉站	12.750 4	0.346 17	0.135 43
武广线	广州南站	2.290 4	0.437 38	0.722 22
沪杭线	上海虹桥	2.2399	0.510 73	0.229 81
沪杭线	杭州	2.675 5	0.513 81	0.630 8
沪宁线	上海虹桥	2.704	0.496 93	0.354 26
沪宁线	杭州	2.578	0.469 2	0.642 27

4 对通过能力计算方法及运输产品设计的影响

在高速铁路列车运行图调整后,采用的是统一的追踪列车时间间隔,长大干线上 A 类列车开行数量并未远远超过 B 类列车开行数量,城际客专线上 B 类列车占有比例也不低,选取典型的区段进行通过能力计算方法的适应性分析^[5],现行的扣除系数法平图能力^[6-7]无法确定,扣除系数取值随着不同速度等级列车的停站次数、停站时间的不同体现出差异性和不合理性。平均最小列车时间间隔法^[8]对于行车量较大的高速铁路而言,其缓冲时间随列车运行工作质量要求不断变化,而列车时间间隔在出发站表现出对数正态分布的规律,采取平均值计算的方法容易造成平均时间间隔与实际时间间隔出现较大差距,能力利用率不尽合理,甚至出现过饱和的情况。因此,可以考虑仍采用最小列车时间间隔法计算通过能力,但平均值的计算方法应发生变化,应该根据其时间间隔服从的对数正态分布规律,先计算正态分布函数的均值,然后对此均值计算其指数,以此值作为其最小列车时间间隔,然后计算其通过能力。

对于高速铁路列车运行图,中间站的停站次数、时间表现出一定的规律,需要根据中间站的服务频率与出发列车时间间隔的分布规律,针对旅客出现规律进行一定的适应性分析,分析运输产品是否与旅客出行规律相符合,特别是遇有超强客流^[9]时,应针对旅客出行规律的变化适时调整运输产品设计。

5 结论

综上所述,利用既有列车运行图的技术资料,分析A、B类列车共线运行列车运行图的结构特征为:同一条线采用统一追踪列车间隔时间标准,不同线路的追踪间隔时间有区别;区间能力利用率不高,维持在20%~27%之间;长大干线区段的停站次数在3~7次,城际客专的停站次数在1~5次,停站率基本在20%以上,长大干线上武广和京沪线的中间站平均服务频率为42.5%和24.93%;长大干线直通旅客列车开行比例多不到3%,而城际客专直通列车开行比例超过10%;高峰时段持续时间在2h左右;旅客列车分布时段性明显,列车密度随着A类列车占行车量比例的增加而增大;出发列车间隔时间服从对数正态分布。以上列车运行图的结构特征对区间通过能力计算提出了新的要求。

参 考 文 献

- [1]徐行方,朱学杰.沪宁杭城际列车开行密度的统计分析[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(2):174-178.
- [2]马建军,胡思继,许红,等.京沪高速铁路列车运行图编制基本理论的研究[J].北方交通大学学报,2002(2):49-52,61.
- [3]胡思继.列车运行图编制理论[M].北京:中国铁道出版社,2007.
- [4]陈军华,张星臣,徐彬,等.高速铁路列车运行图稳定性及其影响因素分析[J].物流技术,2011,30(8):81-84.
- [5]朱洁,马骊,邓隆炳.既有铁路干线客货共线列车运行图的结构特征分析[J].铁道运输与经济,2010,32(10):62-65.
- [6]宋艳.干线提速区段通过能力计算方法研究[D].北京:北京交通大学交通运输学院,2006.
- [7]马骊,严余松,饶武.提速双线的大区间对通过能力的影响[J].铁道运输与经济,2004,26(12):63-65.
- [8]赵丽珍.高速铁路区间通过能力计算与分析[J].中国铁道科学,2001,22(6):54-58.
- [9]薛成海,周强.超强客流条件下铁路客运营营销及运输组织有关问题探讨[J].石家庄铁道学院学报,2001,14(2):65-68.

Analysis on Structural Features of High-speed Working Diagram

Zhan Yong, Ma Si

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: based on existing high-speed train working diagram of the long distance line of Jing-Hu and Wu-Guang and inter city passenger dedicated line of Jing-Jin, Hu-Ning and Hu-Hang, this paper makes a statistical analysis of the structure and distribution on the time axis. This paper also illustrates the train speed grade and the situation of stops, train classes and proportions as well as its distributions on the time axis. The laws of distribution of departure intervals are also analyzed. Several conclusions and suggestions are put forward on the carrying capacity of high-speed railway station and passenger transportation.

Key words: high-speed railway; train working diagram; structural features

(责任编辑 车轩玉)