

文章编号:1671-1637(2015)06-0068-07

## 高速列车运行速度作用于线路运能的规律

潘 登,梅 萌,郑应平

(同济大学 电子与信息工程学院,上海 201804)

**摘 要:**应用准移动闭塞系统和移动闭塞系统数学模型计算了总车距、列车间隔时间和线路运能,选取制动加速度分别为 $-0.63$ 、 $-0.75$ 、 $-0.85$ 、 $-0.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 进行了仿真试验,分析了高速列车运行速度作用于线路运能的规律。分析结果表明:安全车距与列车减速停车时的初始速度呈正比关系,列车间隔时间和线路运能与安全车距、列车运行速度和初始参数取值密切相关;列车间隔时间存在极小值,线路运能存在极大值;制动加速度越小,列车间隔时间越小,线路运能越大;列车间隔时间可以控制在3 min以内,线路每天运能可以达到1 000列以上;准移动闭塞系统的列车间隔时间大于移动闭塞系统,线路运能低于移动闭塞系统;考虑工程应用的可行性使得准移动闭塞系统与移动闭塞系统的线路运能差距进一步扩大。

**关键词:**高速铁路;列车运行速度;安全车距;列车间隔时间;线路运能;列车运行控制

**中图分类号:**U292.55

**文献标志码:**A

## Laws of high-speed train operation speed acting on line capacity

PAN Deng, MEI Meng, ZHENG Ying-ping

(School of Electronic and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The mathematical models of quasi-moving block system and moving block system were used to calculate total vehicle distance, train interval time and line capacity. When brake accelerations were  $-0.63$ ,  $-0.75$ ,  $-0.85$  and  $-0.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  respectively, the simulation experiments were carried out to analyze the laws of high-speed train operation speed acting on line capacity. Analysis result shows that safe headway is proportional to initial speed when train decreases speed to stop. Train interval time and line capacity are closely related to safe headway, train operation speed and initial parameter values. The minimum of train interval time and the maximum of line capacity exist accordingly. The smaller braking acceleration is, the smaller train interval is, and the greater line capacity is. Train interval time can be controlled in 3 min, and line capacity can reach over 1 000 trains a day. Train interval time of quasi-moving block system is longer than that of moving block system, and its line capacity is less than that of moving block system. Considering the feasibility of engineering application makes the line capacity gap between quasi-moving block system and moving block system to further expand. 2 tabs, 8 figs, 20 refs.

**Key words:** high-speed railway; train operation speed; safe headway; train interval time; line capacity; train operation control

**Author resume:** PAN Deng(1969-), male, associate professor, PhD, +86-21-69589241, pandengreal@sina.com.

收稿日期:2015-07-10

基金项目:国家自然科学基金项目(61174183)

作者简介:潘 登(1969-),男,安徽怀远人,同济大学副教授,工学博士,从事智能轨道交通研究。

## 0 引言

列车运行速度越高,相同制动策略下其停车距离越大,从而影响到安全行车约束下的线路运能,而运能的增大,在列车编组和牵引质量不变的情况下,往往意味着线路上列车运行时空密度的增加。目前,对固定闭塞系统列车运行速度对线路运能的影响研究得较为深入。赵春雷于20世纪90年代末研究了双线固定自动闭塞区段提高通过能力和旅客列车速度的方法<sup>[1]</sup>,随着先进列车运行控制技术的运用,列车速度大幅提高,在当前运用准移动闭塞系统的京沪、京广等线路上,提高列车速度的同时提高线路运能已经变得十分困难,必须从理论高度洞悉列车运行速度作用于线路运能的规律,才能在实践中采取科学的方法不断优化列车运行质量和行车组织的效率;田长海等分析了客货混跑线路上列车提速对线路通过能力的影响,从工程实践角度论证了既有繁忙干线列车提速后列车质量、速度、密度合理匹配的可行性和具体方案<sup>[2]</sup>;张济民等对低速准移动闭塞系统的列车间隔时间进行了研究,并与固定闭塞系统、移动闭塞系统作了比较分析<sup>[3]</sup>;汤奇志等对 $200\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 线路上不同列车间隔时间下的线路运能计算进行了讨论,但未涉及不同列车速度对列车间隔时间和线路运能的影响<sup>[4]</sup>;罗丽云等针对城市轨道交通中的低速运行列车,给出了移动闭塞和准移动闭塞列车安全间隔时间计算公式<sup>[5]</sup>;苏顺虎等将客运专线上运行的列车划分为 $200\sim 250$ 、 $300\sim 350\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 两种速度类型,以不停站 $300\sim 350\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 高速列车为基准计算 $200\sim 250$ 、 $300\sim 350\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 高速列车产生的扣除系数,进而得到了客运专线通过能力的计算方法<sup>[6]</sup>;王俊峰深入地探讨了客运专线不同列车控制系统共线对通过能力的影响,并给出了具体的计算方法<sup>[7]</sup>;张岳松等针对高速列车间隔时间的计算原则进行了较为充分的讨论,但未能就列车间隔时间与列车运行速度的数学关系作更详尽的研究<sup>[8]</sup>;Pearson对固定闭塞系统、准移动闭塞系统、移动闭塞系统的线路运能进行了初步的比较分析<sup>[9]</sup>;Abril等对影响线路运能的诸多因素作了全面的论述,进而探讨了固定闭塞系统和移动闭塞系统线路运能的评估与仿真方法,但未能深刻揭示列车速度作用于线路运能的规律,也未对准移动闭塞和移动闭塞2种系统进行比较分析<sup>[10]</sup>;Ramunas等研究了列车之间的速度差对线路运能的影响,指出缩小速度差特别有助于提升线路运输

能力<sup>[11]</sup>;Hunyadi对欧洲铁路运输管理系统中列车在不同运行速度下的制动距离和列车间隔时间以及它们对线路运能的影响作了定性分析,指出列车速度的提高对线路运能的影响有可能是负面的<sup>[12]</sup>;Gonzalez等针对目标距离列车运行控制系统,指出线路运能优化需要考虑列车速度、列车间隔时间和轨道电路的位置、长度等因素<sup>[13]</sup>;Lai等比较分析了固定闭塞系统与准移动闭塞系统和移动闭塞系统的线路运能问题<sup>[14]</sup>;Mussone等基于列车间隔时间提出了适用于铁路复杂系统的运能分析模型和相应计算方法<sup>[15]</sup>;Goverde等讨论了行车组织规划和不同干扰条件下铁路信号系统的线路运能问题<sup>[16]</sup>。

上述研究成果<sup>[13-16]</sup>未就列车速度和列车间隔时间的关系在不同控制策略下进行讨论,未在 $0\sim 500\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的全速域范围内研究列车速度对列车间隔时间和运能的影响。汤波等提出了以进路为对象与以咽喉运用饱和状态下进路占用时间推算为核心的铁路车站咽喉通过能力计算方法,但并未深入讨论列车运行速度对运能的影响<sup>[17]</sup>;潘登等研究了基于安全车距实时标定的列车间隔动态控制问题,并就相同初始速度条件下高速列车跟驰运行控制策略与安全车距的互动演化作了详细讨论,但并未深入地探讨列车运行速度与线路运能的内在联系<sup>[18-19]</sup>;彭其渊等指出了统筹速度、密度、重载3大要素的重要性,指出线路运能与安全行车条件下线路上的列车时空密度、牵引质量有着直接的关系,列车时空密度取决于列车间隔时间和安全车距,牵引质量直接影响到列车的运行速度与加速度<sup>[20]</sup>,其中,列车间隔时间为两列车在区间内追踪运行的间隔时间、到站停车的间隔时间、从车站出发的间隔时间、不停车通过车站的间隔时间的最大者。通常情况下两列车到站停车的间隔时间最大,在行车组织中起着决定性作用。

上述既有研究成果为研究列车运行速度作用于线路运能的深层次问题奠定了基础,但未能充分揭示列车运行速度作用于线路运能的规律。本文首先建立不同速度下两列车到站停车应保持的安全间隔计算模型,推导了线路运能的计算公式,描述了线路运能与列车运行速度的关系,利用仿真手段,揭示列车运行速度作用于线路运能的规律。

## 1 数学模型

### 1.1 总车距计算

在准移动闭塞系统中,闭塞分区由长度微小的轨

道单元组成,后续列车采用一次目标距离制动方式,目标点为前行列车所占用闭塞分区的始端。根据对列车间隔时间的分析结果,计算两列车到站停车情形下的总车距(图 1)。图 1 中: $l_1$  为安全车距; $l_2$  为进站信号机至同侧股道绝缘的距离; $l_3$  为列车长度。

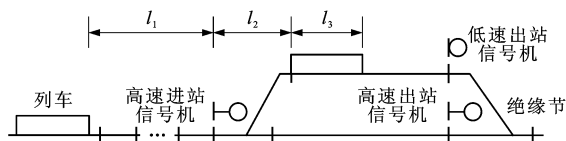


图 1 准移动闭塞系统

Fig. 1 Quasi-moving block system

考虑到前行列车进站停车过程中,岔区内存在联锁关系的信号机、道岔和轨道电路等信号设备渐次解锁,后续列车的目标停车点为进站信号机,安全车距为司机或车载设备确认目标距离和速度变化至采取控制措施并生效的时间内列车行驶的距离、车站办理列车到达作业时间内列车行驶的距离、列车制动距离与安全防护距离之和。设闭塞分区中具有原子性的微小轨道单元长度为  $l_4$ ,可得总车距  $l_5$  为

$$l_5 = f(l_1/l_4)l_4 + l_2 + l_3 \quad (1)$$

式中: $f(\cdot)$  为向上取整函数。

组成闭塞分区的微小轨道单元长度趋近于 0 时,准移动闭塞系统变为移动闭塞系统(图 2)。此时总车距  $l_6$  为

$$l_6 = l_1 + l_2 + l_3 \quad (2)$$

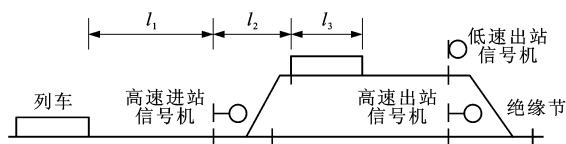


图 2 移动闭塞系统

Fig. 2 Moving block system

## 1.2 列车间隔时间计算

按照行车组织理论,准移动闭塞系统的列车间隔时间  $t_1$  为

$$t_1 = \frac{l_5}{v} \quad (3)$$

式中: $v$  为列车平均运行速度,与列车进站过程中的制动初速度和采取的制动策略相关。

移动闭塞系统的列车间隔时间  $t_2$  为

$$t_2 = \frac{l_6}{v} \quad (4)$$

## 1.3 线路运能计算

忽略列车运行图综合维修天窗时间、无效时间与列车停站等因素产生的扣除系数<sup>[7]</sup>,分别计算准移动闭塞系统和移动闭塞系统的线路运能。线路运

能用每天线路允许的列车运行数量表示,时间  $t_3$ 。

准移动闭塞系统的线路运能  $N_1$  为

$$N_1 = g\left(\frac{t_3}{t_1}\right) \quad (5)$$

式中: $g(\cdot)$  为向下取整函数。

移动闭塞系统的线路运能  $N_2$  为

$$N_2 = g\left(\frac{t_3}{t_2}\right) \quad (6)$$

通过以上分析可以得出以下结论。

(1)安全车距与列车减速停车时的初始速度呈正比关系,初始速度愈高,安全车距愈长。

(2)列车间隔时间和线路运能与安全车距和列车运行速度均有着密切的关系,由于安全车距本身是速度的函数,故不能简单断定列车间隔时间和线路运能与列车运行速度呈正比关系还是反比关系。

(3)列车间隔时间和线路运能与初始参数的取值同样有着密切的相关性。司机或车载设备确认目标距离和速度变化至采取控制措施并生效的时间内列车行驶的距离与司机操纵列车的熟练程度或列车运行自动控制设备的先进程度密切相关,车站办理列车到达作业时间内列车行驶的距离取决于车站行车组织技术的科学性和先进性,进站信号机至同侧股道绝缘的距离则与车站的站场规模有关。在工程计算时,还应充分考虑列车运行图综合维修天窗时间与列车停站等因素产生的扣除系数。

## 2 仿真结果分析

仿真试验初始参数设定:司机或车载设备确认目标距离和速度变化至采取控制措施并生效的时间为 10 s,车站办理列车到达作业时间为 8 s,安全防护距离为 200 m,进站信号机至同侧股道绝缘的距离为 1 000 m,列车长度为 400 m,微小轨道单元长度为 1 500 m,制动加速度分别为  $-0.63$ 、 $-0.75$ 、 $-0.85$ 、 $-0.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。列车间隔时间和线路运能与列车运行速度之间的关系分别见图 3~6,可知,在初始参数不变的情况下,列车间隔时间、线路运能均与列车运行速度、列车制动策略密切相关。

(1)不论列车采取何种制动策略,列车间隔时间均存在极小值,线路运能相应地存在极大值;制动加速度越小,列车间隔时间越小,线路运能越大。

(2)在极值的左侧,列车间隔时间随着速度的上升而缩短,线路运能则随着速度的上升而增强;在极值的右侧,列车间隔时间随着速度的上升而增大,线路运能则随之减弱。

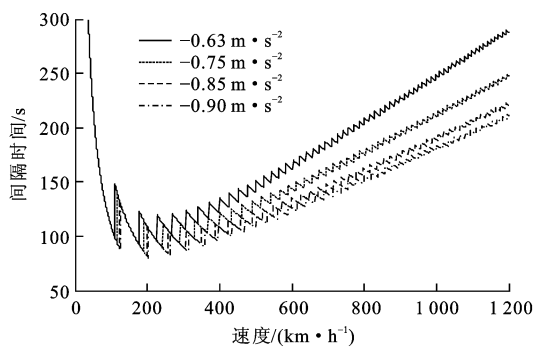


图 3 准移动闭塞系统的列车间隔时间

Fig. 3 Train interval times in quasi-moving block system

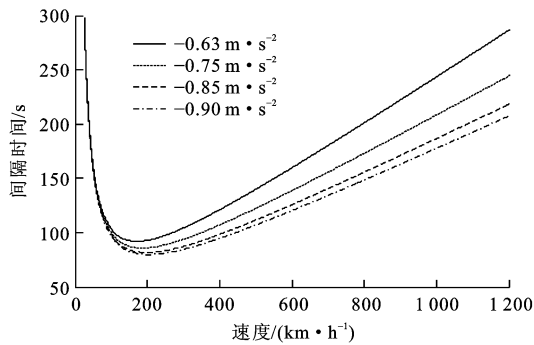


图 4 移动闭塞系统的列车间隔时间

Fig. 4 Train interval times in moving block system

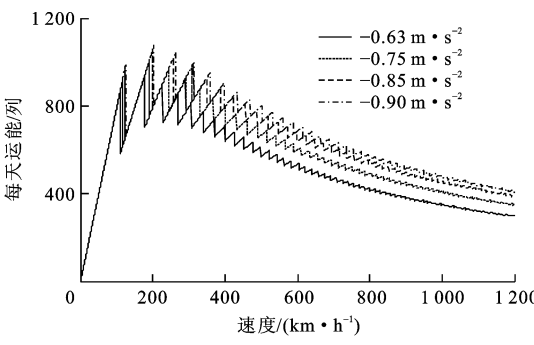


图 5 准移动闭塞系统的线路运能

Fig. 5 Line capacities in quasi-moving block system

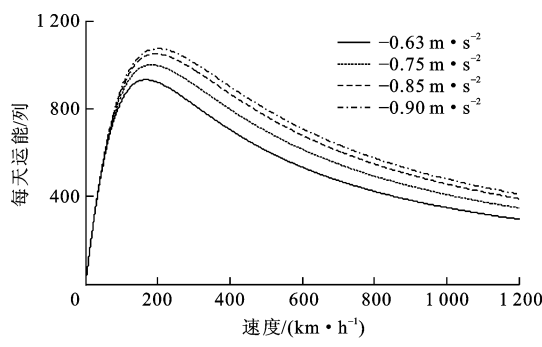


图 6 移动闭塞系统的线路运能

Fig. 6 Line capacities in moving block system

(3)在极值处,如果保持列车间隔时间或线路运能不变,继续增加列车速度将会出现行车安全问题,如果在继续提高列车运行速度的情况下进一步缩短列车间隔时间或继续增大行车时间密度,列车追踪运行的安全风险将急剧增加。

(4)由于准移动闭塞系统中线路被划分为若干微小轨道单元,使得列车间隔时间和线路运能表现逊于移动闭塞系统,且与速度的关系呈锯齿状,但微小轨道单元长度越小,越逼近于移动闭塞系统,且列车运行速度越高,逼近的效果越好。

典型速度下的列车间隔时间和线路运能分别见表 1、2,可知列车间隔时间可以控制在 3 min 以内,线路运能可以达到每天 1 000 列以上。

移动闭塞系统相对于准移动闭塞系统的列车间隔时间减小率见图 7,线路运能的增长率见图 8,可知由于微小轨道单元的存在使得变化率曲线为锯齿状。

从仿真情况来看,准移动闭塞系统与移动闭塞系统的列车间隔时间和线路运能存在极值。如果列车速度超过极值点的速度并继续增大,列车间隔时间将增大,线路运能也会随之降低。从行车组织和运输市场营销来讲,必须在列车运行速度和线路运

表 1 列车间隔时间

Tab. 1 Train interval times

列车运行速度/(km·h <sup>-1</sup> )		100	150	200	250	300	350	400	450	500
准移动闭塞 系统中制动 加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	-0.63	109.80	109.20	108.90	108.72	108.60	123.94	121.95	132.40	151.56
	-0.75	109.80	109.20	108.90	108.72	108.60	108.51	108.45	120.40	129.96
	-0.85	109.80	109.20	108.90	87.12	90.60	108.51	108.45	108.40	119.16
	-0.90	109.80	109.20	81.90	87.12	90.60	93.09	108.45	108.40	108.36
移动闭塞 系统中制动 加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	-0.63	103.05	93.07	93.59	98.31	105.14	113.16	121.93	131.21	140.83
	-0.75	99.52	87.78	86.54	89.50	94.56	100.81	107.82	115.33	123.19
	-0.85	97.34	84.51	82.18	84.05	88.02	93.19	99.11	105.53	112.30
	-0.90	96.43	83.15	80.36	81.78	85.30	90.01	95.48	101.44	107.76

表 2 线路每天运能  
Tab. 2 Everyday line capacities

列

列车运行速度/(km·h <sup>-1</sup> )		100	150	200	250	300	350	400	450	500
准移动闭塞 系统中制动 加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	-0.63	786	791	793	794	795	697	708	652	570
	-0.75	786	791	793	794	795	796	796	717	664
	-0.85	786	791	793	991	953	796	796	797	725
	-0.90	786	791	1 054	991	953	928	796	797	797
移动闭塞 系统中制动 加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	-0.63	838	928	923	878	821	763	708	658	613
	-0.75	868	984	998	965	913	857	801	749	701
	-0.85	887	1 022	1 051	1 027	981	927	871	818	796
	-0.90	895	1 039	1 075	1 056	1 012	959	904	851	801

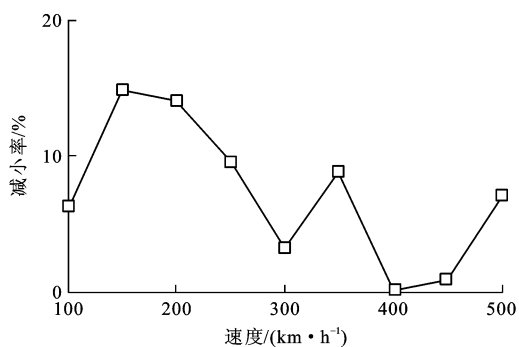
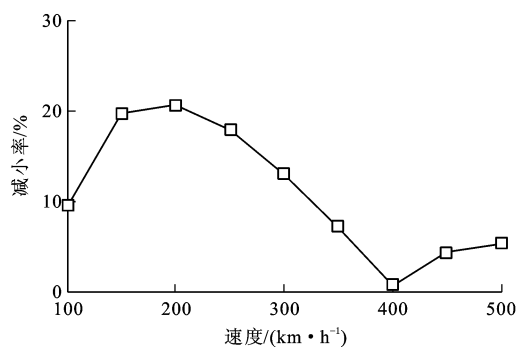
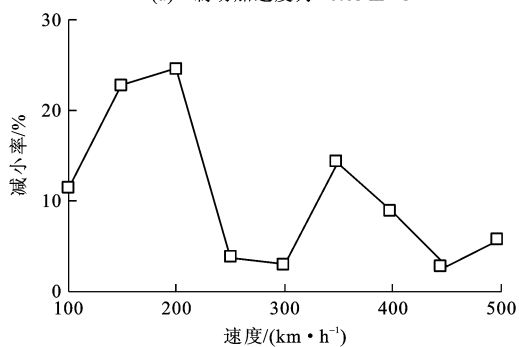
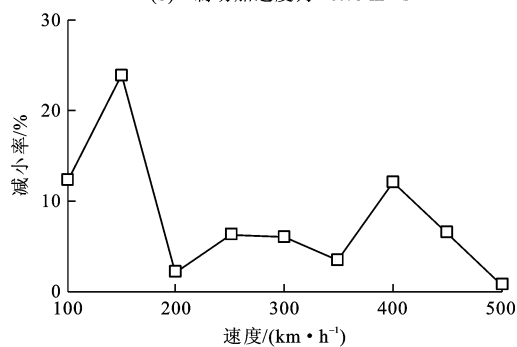
(a) 制动加速度为  $-0.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (b) 制动加速度为  $-0.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (c) 制动加速度为  $-0.85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (d) 制动加速度为  $-0.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 

图 7 列车间隔时间的减小率

Fig. 7 Decreasing rates of train interval times

能之间取得平衡,特别是抓住当前铁路运输需求的主要矛盾,以促进高速铁路的建设与健康发展。由于准移动闭塞系统与移动闭塞系统在  $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  以内线路运能远未充分发挥,即使考虑扣除系数等因素其线路运能也远大于实际利用运能。尽管中国高速列车的速度已超出极值点的速度,但是实际利用运能在线路运能的范围内实现了显著提高,较好地应对了运输市场对高速铁路的需求。另一方面,准移动闭塞系统的列车间隔时间、线路运能与列车运行速度呈现锯齿状关系,使得在制定具有普遍性指导意义的参数指标时,必须考虑工程应用的可行性而不得不从列车间隔时间锯齿状曲线的上边界或线路运能锯齿状曲线的下边界取值,以牺牲行车效

率来获得更大的安全裕量,从而导致其在线路运能上与移动闭塞系统的差距进一步扩大。

### 3 结 语

(1)应用准移动闭塞系统和移动闭塞系统数学模型计算了总车距、列车间隔时间和线路运能,结果表明安全车距与列车减速停车时的初始速度呈正比关系,列车间隔时间和线路运能与安全车距、列车运行速度和初始参数取值密切相关。

(2)仿真结果表明,不论列车采取何种制动策略,列车间隔时间均存在极小值,线路运能相应地存在极大值。制动加速度越小,列车间隔时间越小,线路运能越大。准移动闭塞系统的列车间隔时间大于移动

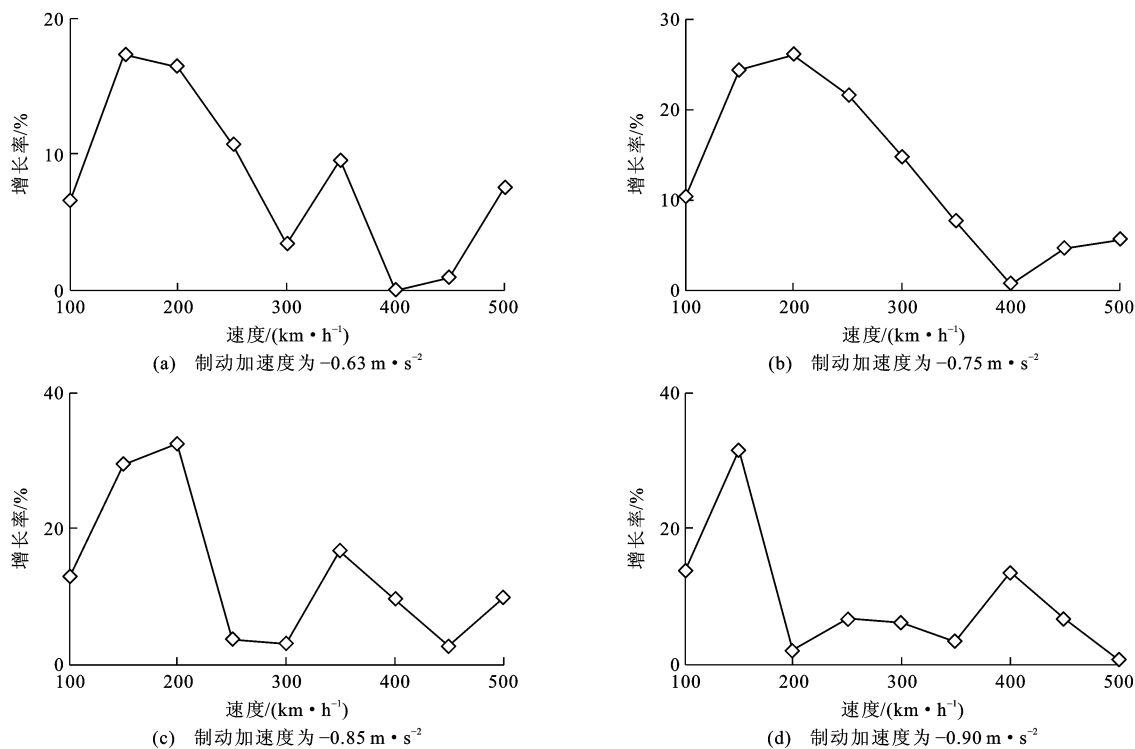


图8 提高线路运能的增长率

Fig. 8 Increasing rates of enhancing line capacities

闭塞系统,线路运能低于移动闭塞系统。微小轨道单元长度越小,准移动闭塞系统越逼近于移动闭塞系统,且列车运行速度越高,逼近的效果越好。

(3)列车间隔时间可以控制在3 min以内,线路运能可以达到每天1 000列以上。移动闭塞系统相对于准移动闭塞系统列车间隔时间的减小率曲线和线路运能的增长率曲线均为锯齿状,考虑工程应用的可行性使得准移动闭塞系统在线路运能上与移动闭塞系统的差距进一步扩大。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 赵春雷. 双线自动闭塞区段提高通过能力和旅客列车速度的研究[J]. 铁道学报, 1997, 19(1): 13-19.  
ZHAO Chun-lei. A study on raising carrying capacity and passenger train speed on double-track automatic block line[J]. Journal of the China Railway Society, 1997, 19(1): 13-19. (in Chinese)
- [2] 田长海, 赵丽珍, 何邦模, 等. 既有繁忙干线列车提速运输组织的研究[J]. 中国铁道科学, 1998, 19(4): 1-10.  
TIAN Chang-hai, ZHAO Li-zhen, HE Bang-mo, et al. Research on transportation organization in the case of raising train speed on existing busy lines[J]. China Railway Science, 1998, 19(4): 1-10. (in Chinese)
- [3] 张济民, 吴汶麒, 张树京. 准移动闭塞列车安全间隔时间的计算[J]. 铁道学报, 1999, 21(3): 6-10.

ZHANG Ji-min, WU Wen-qi, ZHANG Shu-jing. Calculation of time interval between two trains in moving-block signal system[J]. Journal of the China Railway Society, 1999, 21(3): 6-10. (in Chinese)

- [4] 汤奇志, 朱家荷, 赵春雷, 等. 既有线提速  $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  的线路区间通过能力分析[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(5): 123-127.  
TANG Qi-zhi, ZHU Jia-he, ZHAO Chun-lei, et al. Analysis and computation of the carrying capacity in the section of existing line speed increase to  $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  [J]. China Railway Science, 2005, 26(5): 123-127. (in Chinese)
- [5] 罗丽云, 吴汶麒. 城市轨道交通移动闭塞列车安全间隔时间分析[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(1): 119-123.  
LUO Li-yun, WU Wen-qi. Analysis on the safety time interval of train with movable block system in urban rail transit[J]. China Railway Science, 2005, 26(1): 119-123. (in Chinese)
- [6] 苏顺虎, 田长海, 陈治亚. 客运专线通过能力的分析计算[J]. 中国铁道科学, 2008, 29(5): 119-124.  
SU Shun-hu, TIAN Chang-hai, CHEN Zhi-ya. Analysis and calculation of the carrying capacity on passenger dedicated lines[J]. China Railway Science, 2008, 29(5): 119-124. (in Chinese)
- [7] 王俊峰. 客运专线不同列车控制系统共线对通过能力的影响[J]. 北京交通大学学报, 2010, 34(6): 1-4.  
WANG Jun-feng. Traffic ability impact analysis about different train control system on the same passenger dedicated line[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(6): 1-4. (in Chinese)
- [8] 张岳松, 田长海, 姜昕良, 等. 高速铁路列车间隔时间的计算方法[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(5): 120-125.

- ZHANG Yue-song, TIAN Chang-hai, JIANG Xin-liang, et al. Calculation method for train headway of high speed railway[J]. China Railway Science, 2013, 34(5): 120-125. (in Chinese)
- [9] PEARSON L V. Moving block railway signalling[D]. Loughborough: Loughborough University, 1973.
- [10] ABRIL M, BARBER F, INGOLOTTI L, et al. An assessment of railway capacity[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2008, 44(5): 774-806.
- [11] RAMUNAS V, GAILIENE I, PODAGELIS I. Increment of railway line capacity[C]//Vilnius Gediminas Technical University Publishing House. 8th International Conference on Environmental Engineering. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University Publishing House, 2011: 1193-1199.
- [12] HUNYADI B. Capacity evaluation for ERTMS level 2 operation on HS2[R]. Berlin: Bombardier Transportation, 2011.
- [13] GONZALEZ J, RODRIGUEZ C, BLANGNER J, et al. Increase of metro line capacity by optimisation of track circuit length and location: in a distance to go system[J]. Journal of Advanced Transportation, 2010, 44(2): 53-71.
- [14] LAI Y C, WANG S H. Development of analytical capacity models for conventional railways with advanced signaling systems[J]. Journal of Transportation Engineering, 2012, 138(7): 961-974.
- [15] MUSSONE L, CALVO R W. An analytical approach to calculate the capacity of a railway system[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 228(1): 11-23.
- [16] GOVERDE R M P, CORMAN F, D'ARIANO A. Railway line capacity consumption of different railway signalling systems under scheduled and disturbed conditions[J]. Journal of Rail Transport Planning and Management, 2013, 3(3): 78-94.
- [17] 汤 波,雷定猷,张英贵,等. 铁路车站咽喉通过能力计算方法[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(6): 69-74.
- TANG Bo, LEI Ding-you, ZHANG Ying-gui, et al. Calculating method of carrying capacity for railway station bottleneck[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(6): 69-74. (in Chinese)
- [18] 潘 登,郑应平. 基于安全车距实时标定的列车间隔动态控制[J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(1): 112-118.
- PAN Deng, ZHENG Ying-ping. Dynamic control of train interval based on real-time calibration of safe headway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(1): 112-118. (in Chinese)
- [19] 潘 登,梅 萌,郑应平. 高速列车跟驰运行控制策略与安全车距的互动演化[J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(5): 90-100.
- PAN Deng, MEI Meng, ZHENG Ying-ping. Interactive evolution between safe headway and control strategy of high-speed trains during following operation[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(5): 90-100. (in Chinese)
- [20] 彭其渊,文 超,闫海峰. 提速战略对我国铁路运输发展的带动作用[J]. 西南交通大学学报, 2008, 43(6): 685-691.
- PENG Qi-yuan, WEN Chao, YAN Hai-feng. Driving effects of speed increase on development of railway transportation in China[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008, 43(6): 685-691. (in Chinese)