

单线最高运行速度 160 km/h 对线路通过能力的影响

刘 华

铁道第二勘察设计院线路处, 四川, 成都 610031

摘 要: 通过研究旅客列车扣除系数的理论, 采用计算机模拟运行, 铺画大量的运行图后总结出: 在客车最高运行速度为 160 km/h 时, 快速客车扣除系数为 1.4 左右; 当快速客车分布十分有利时, 其扣除系数可能在 1.0 以下, 平均扣除系数在 1.2 左右。

关键词: 单线铁路; 通过能力; 扣除系数; 速度影响

中图分类号: U212.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2003)02-0077-05

Velocity Effect on the Track Capacity at the Highest Traveling Speed of 160 km/h on Single-Track Line

LIU Hua

Line Department, the No.2 Railway Survey and Design

Institute, Chengdu 610031, China

Abstract: Through research of the theory of the deduction coefficient of passenger train, using computer simulation of the operation and after drawing many operation diagrams, a conclusion has been drawn that, when passenger train travels at the highest traveling speed of 160 km/h, the deduction coefficient of speeding-up passenger train reaches 1.4, and when the distribution of the speed-up passenger trains is very good, the deduction coefficient will be smaller than 1.0. Meanwhile, the average deduction

收稿日期: 2003-09-03.

作者简介: 刘华(1964-), 女, 四川人, 铁道第二勘察设计院线路处高级工程师。

coefficient of trains reaches 1.2.

Key word: Single track railway, track capacity, deduction coefficient, speed effect

我国铁路自 1997 年开始的四次提速,基本上都是在既有线上进行的,其中,绝大部分的研究成果是以既有双线铁路为背景进行的,对单线铁路的提速问题研究甚少,在新建单线设计时考虑旅客列车的提速问题还是一个空白。在我国单线铁路较多,列车提速不仅是在既有线上进行,而且应在新建线路设计时就应对此进行考虑。目前,除汉丹线部分提速区段速度达到 140 km/h 外,其余单线铁路速度均在 120 km/h 及以下。因此,研究单线铁路旅客列车提速至 160 km/h 时对能力的影响等一系列问题,不仅对确定新建单线旅客列车提速方案有重要的指导意义和实际应用价值,而且可以丰富旅客列车提速理论,填补路网内空缺。

1 提速对通过能力的影响

1.1 单线快速旅客列车扣除系数的理论分析

在单线区段,线路通过能力主要受旅客列车铺画方案以及区段内限制区间的运行时分、车站配线数量等因素的影响。单线平行运行图通过能力^[1]为

$$n_{\text{平}} = \frac{1440 - T_{\text{固}}}{T_{\text{周}}} \quad (1)$$

式中:

$T_{\text{固}}$ 线路养护维修,技术改造施工,电力牵引区段接触网检修等须预留的固定占用区间时间 t 空隙以及必要的列车慢行和其他附加时分的总和;

$T_{\text{周}}$ 平行运行图周期。

$$T_{\text{周}} = t + t + \dot{O}_{\text{起停}} + \dot{O}_{\text{站}} \quad (2)$$

从上式可以看出,影响 $T_{\text{周}}$ 大小的因素主要是区间上下行运行时分 t 和 t 以及列车在车站的交会方式。开行快速列车的区段,其通过能力可用下式计算:

$$n_{\text{能}}^{\text{货}} = n_{\text{平行}} - e_{\text{客}}^{\text{快}} n_{\text{快客}} - e_{\text{客}} n_{\text{客}} - (e_{\text{快货}} - 1)n_{\text{快货}} - (e_{\text{辆挂}} - 1)n_{\text{辆挂}} \quad (3)$$

$$n_{\text{非}} = n_{\text{货}}^{\text{能}} + n_{\text{快客}} + n_{\text{客}} \quad (4)$$

开行一列快速列车将要减少一列以上的货物列车开行。快速旅客列车扣除系数的大小与该区段的客、货列车运行速度、车站间隔时间,列车起停车附加时间、快速列车在一昼夜的分布以及车站设置位置等有密切关系,列车运行速度若改变,快速旅客列车扣除系数就要随之变化。

在运行图上铺画旅客列车所造成的扣除时间,由两部分组成:

$$t_{\text{扣}} = t_{\text{客占}} + t_{\text{外扣}} \quad (5)$$

式中:

$t_{\text{扣}}$ 因开行一对旅客列车需在运行图上扣除的时间;

$t_{\text{客占}}$ 旅客列车本身占用区间的时间;

$$t_{\text{客占}} = t_{\text{客占}}^{\text{上}} + t_{\text{客占}}^{\text{下}} = t_{\text{客运}}^{\text{上}} + t_{\text{客运}}^{\text{下}} + 2t_{\text{站}} \quad (6)$$

$t_{\text{外扣}}$ 由于相邻两列旅客列车之间的时间间隔不是货物列车占用区间时间 $T_{\text{列}}$ 的整数倍而产生的额外扣除时间,其大小主要取决于旅客列车在运行图上的铺画位置。

因此,快速旅客列车扣除系数 $e_{\text{快扣}}$ 也由两部分组成。

$$e_{\text{快扣}} = \frac{t_{\text{扣}}}{T_{\text{周}}} = \frac{t_{\text{客占}}}{T_{\text{周}}} + \frac{t_{\text{外扣}}}{T_{\text{周}}} = e_{\text{基}} + e_{\text{外扣}} \quad (7)$$

1.2 基本扣除系数 $e_{\text{基}}$ 的分析确定

$$e_{\text{基}} = \frac{t_{\text{客占}}}{T_{\text{周}}} = \frac{t_{\text{客运}}^{\text{上}} + t_{\text{客运}}^{\text{下}} + 2t_{\text{站}}}{T_{\text{周}}} = \frac{\Delta t_{\text{货}}^{\text{上}} + \Delta t_{\text{货}}^{\text{下}} + 2t_{\text{站}}}{T_{\text{周}}} = \frac{\Delta T_{\text{周}} + \Delta 2t_{\text{站}}(1 - \Delta)}{T_{\text{周}}} = \Delta + \frac{2t_{\text{站}}(1 - \Delta)}{T_{\text{周}}} \quad (8)$$

若 $t_{\text{站}}$ 取 3 min, 限制区间周期 $T_{\text{周}}$ 为 37 min, 一般旅客列车平均运行速度取 100 km/h, 货物列车的平均运行速度取 60 km/h, 则提速旅客列车基本扣除系数的变化值为

$$\Delta e_{\text{基}} = e_{\text{基}}^{\text{提}} - e_{\text{基}} = \frac{60}{V_{\text{提旅}}} - \frac{60}{100} + \frac{6(1 - \frac{60}{V_{\text{提旅}}})}{38} - \frac{2.4}{38} = \frac{50.5}{V_{\text{提旅}}} - 0.51 \quad (9)$$

当提速旅客列车的速度从 110 km/h 变化到 160 km/h 时，其基本扣除系数变化值如表 1 所示：

表 1 快速旅客列车基本扣除系数变化值

| $V_{\text{提旅}} / (\text{km/h})$ | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\Delta \alpha_{\text{基}}$ | -0.051 | -0.089 | -0.122 | -0.149 | -0.173 | -0.194 |

在单线区段，当货物列车与快速列车速差增大，开行一对（列）快速列车的基本扣除系数将减小，这是由于快速列车速度提高，其占用区间的时间减小所致。在货物列车速度不变的情况下，旅客列车每提高速度 10 km/h，快速旅客列车的基本扣除系数将平均减少约 0.03，当速度达到 160 km/h 时，提速旅客列车基本扣除系数将减少 0.194。

1.3 额外扣除系数 $e_{\text{外扣}}$ 的分析确定

由于两相邻旅客列车之间的时间间隔不是货物列车占用时间的整数倍而产生的额外扣除时间与列车运行周期之比，称为额外扣除系数。额外扣除系数的大小与运行图铺画的快速列车数量、铺画结构、区间不均等程度以及中间站到发线数目有关。

$$e_{\text{外扣}} = \frac{t_{\text{空}}}{T_{\text{周}}} \quad (10)$$

式中， $t_{\text{空}}$ 为空费时间，其大小与旅客列车的分布密切相关。

一般地，可以用以下的经验公式计算旅客列车的额外扣除系数：

$$e_{\text{外扣}} = 0.8j - 0.025 N_{\text{普}} - 0.1 \quad (11)$$

式中， j 为区间不均等程度，它等于货物列车平均运行图周期与限制区间运行图周期之比； $N_{\text{普}}$ 为区间开行的旅客列车数量。

单线区间旅客列车提速后，导致快速旅客列车额外扣除系数增加的主要因素是快速旅客列车数量及其比重，快速旅客列车与一般旅客列车的速度差异（速度比）及其快速旅客的分布。经过分析，快速旅客列车的额外扣除系数可以用式（12）进行估算：

$$e_{\text{快外}} = (0.8j - 0.025 N_{\text{普}} - 0.1) g b a \quad (12)$$

式中， $N_{\text{普}}$ 为区间开行的一般旅客列车数量； γ 为快速旅客列车数量对额外扣除系数的影响因子， $\gamma = (1 + \frac{N_{\text{快}}}{N_{\text{普}}})$ ， $N_{\text{快}}$ 、 $N_{\text{普}}$ 分别为快速旅客列车和一般旅客列车的开行数量； b 为快速旅客列车速度对额外扣除系数的影响因子， $b = \frac{V_{\text{快}}}{V_{\text{普}}}$ ，其中 $V_{\text{快}}$ 、 $V_{\text{普}}$ 分别为快速旅客列车和一般旅客列车的运行速度； a 为快速旅客列车分布对额外扣除系数的影响因子， a 可在 1.1~1.5 间取值（经验值），可根据快速旅客列车开行方案的有利性情况确定。

若取 $j = 0.85$ ， $a = 1.25$ ， $N_{\text{普}} = 12$ ，结果如表 2：

表 2 开行快速旅客列车后额外扣除系数的值

| \hat{a} | g | | | | | | |
|-----------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 |
| | $e_{\text{快外}}$ | | | | | | |
| 1.1 | 0.42 | 0.46 | 0.50 | 0.54 | 0.58 | 0.62 | 0.65 |
| 1.2 | 0.46 | 0.50 | 0.55 | 0.59 | 0.63 | 0.67 | 0.71 |
| 1.3 | 0.50 | 0.55 | 0.59 | 0.64 | 0.68 | 0.73 | 0.77 |
| 1.4 | 0.54 | 0.59 | 0.64 | 0.69 | 0.74 | 0.78 | 0.83 |
| 1.5 | 0.58 | 0.63 | 0.68 | 0.74 | 0.79 | 0.84 | 0.89 |
| 1.6 | 0.62 | 0.67 | 0.73 | 0.78 | 0.84 | 0.90 | 0.95 |

由上表分析可以得出如下结论：

(1) 快速列车的额外扣除系数将增加，其增加的幅度约 0.2~0.5；

(2) 快速旅客列车的额外扣除系数随着快速旅客列车数量（比例）的增加而增加，随着快速旅客列车与一般旅客列车速度差异的增加而增加。

1.4 开行快速旅客列车对扣除系数的影响分析

1.4.1 基本扣除系数分析

设快速列车集中开行比例为 g ，则快速旅客列车部分集中开行时，快速旅客列车的平均基本扣除系数 $e_{基}$ 为

$$e_{基} = (1 - g)e_{基} + ge_{基} \quad (13)$$

式中， $e_{基}$ 为快速旅客列车集中开行时的基本扣除系数。

1.4.2 额外扣除系数分析

快速列车集中开行比例为 g ，则快速旅客列车部

分集中开行时，快速旅客列车的平均额外扣除系数为：

$$\begin{aligned} e_{外} &= (1 - g)e_{外} + ge_{外} \\ &= (1 - g + g/k + g(k - 1)(1 - f)/k)e_{扣} \\ &= (1 - gf + gf/k)e_{扣} \end{aligned} \quad (14)$$

1.4.3 不同快速客车开行方式对扣除系数的影响分析

快速客车不同的开行方式对扣除系数将产生不同的影响，我们分析了开行 2、3、4、5、6 对快速客车集中、分散开行方案的扣除系数，其计算结果见表 3、4、5、6、7。

表 3 快客 2 对时的计算结果

| 快速客车速度/ (km/h) | 全部分散 | 2 对集中 |
|------------------|------|--------|
| 120 | 0 | -0.209 |
| 140 | 0 | -0.181 |
| 160 | 0 | -0.160 |

表 4 快客 3 对时的计算结果

| 快速客车速度/ (km/h) | 全部分散 | 2 对集中，1 对分散 | 全部集中 |
|------------------|------|-------------|--------|
| 120 | 0 | -0.139 | -0.278 |
| 140 | 0 | -0.121 | -0.241 |
| 160 | 0 | -0.107 | -0.213 |

表 5 快客 4 对时的计算结果

| 快速客车速度/ (km/h) | 全部分散 | 2 对集中 2 对分散 | 3 对集中 1 对分散 | 2 个 2 对集中 | 全部集中 |
|------------------|------|----------------|----------------|--------------|--------|
| 120 | 0 | -0.104 | -0.209 | -0.209 | -0.313 |
| 140 | 0 | -0.090 | -0.181 | -0.181 | -0.271 |
| 160 | 0 | -0.080 | -0.160 | -0.160 | -0.240 |

表 6 快客 5 对时的计算结果

| 快速客车速度/ (km/h) | 全部分散 | 2 对集中 3 对分散 | 3 对集中 2 对分散 | 2 个 2 对集中 1 对分散 | 4 对集中 1 对分散 | 全部集中 |
|------------------|------|----------------|----------------|--------------------|----------------|--------|
| 120 | 0 | -0.084 | -0.167 | -0.167 | -0.251 | -0.334 |
| 140 | 0 | -0.072 | -0.145 | -0.145 | -0.217 | -0.289 |
| 160 | 0 | -0.064 | -0.128 | -0.128 | -0.192 | -0.256 |

表 7 快客 6 对时的计算结果

| 快速客车速度 (km/h) | 全部 分散 | 2 对集中 4 对分散 | 3 对集中 3 对分散 | 2 个 2 对集中 2 对分散 | 4 对集中 2 对分散 | 3 个 2 对 集中 | 5 对集中 1 对分散 | 2 个 3 对 集中 | 全部 集中 |
|--------------------|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------|
| 120 | 0 | -0.070 | -0.139 | -0.139 | -0.209 | -0.209 | -0.278 | -0.278 | -0.348 |
| 140 | 0 | -0.060 | -0.121 | -0.121 | -0.181 | -0.181 | -0.241 | -0.241 | -0.301 |
| 160 | 0 | -0.053 | -0.107 | -0.107 | -0.160 | -0.160 | -0.213 | -0.213 | -0.266 |

2 研究结论

(1) 在单线区段, 当旅客列车提高速度时, 快速旅客列车的额外扣除系数将增加, 其增加的幅度为 0.2~0.5;

(2) 在单线区段, 在货物列车速度不变的情况下, 旅客列车速度每提高 10 km/h, 快速旅客列车的基本扣除系数将平均减少 0.03; 当速度达到 160 km/h 时,

最大将减小 0.2 左右;

(3) 在单线区段, 快速旅客列车集中开行可以降低快速旅客列车扣除系数 0.10~0.20, 从而提高区间的通过能力;

(4) 在旅客列车速度提高到 160 km/h 时, 快速列车扣除系数在 1.4 左右。极个别情况下, 当快速列车分布十分有利时, 其扣除系数可能在 1.0 以下。快速旅客列车和一般旅客列车的平均扣除系数在 1.2 左右。

参考文献

- [1] 郑时德、吴汉琳主编. 铁路行车组织[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988:184-185

上接 11 页

参考文献

- [1] Papadimitriou C. H. and Steiglitz K. Combinatorial optimization algorithms and complexity. New Jersey, United States: Prentice-hall Inc., 1982.193-217, 342-382
- [2] Garey M.R. and Johnson D.S. Computers and Intractability, a Guide to the theory of Np-completeness. California, United States: W.H.Freman and Company, 1979. 1-15,45-76
- [3] 朱松年,朱婧.最大独立集算法.西南交通大学学报, 1995.30(5):473-479
- [4] 朱松年,朱婧.奇网络及包络图.铁路运输与经济, 1996.18(4):2-7
- [5] Minieka E. Optimization algorithms for network and Graphs. New York, United States:Marcel Dekker Inc, 1978.87-179