文章编号：1003-1421(2026)06-0061-10
引用格式：于策，顾保南.道岔选型对市域铁路通过能力的影响研究[J].铁道运输与经济，2026，48(6)：61-70.
YU Ce，GU Baonan. Research on Impact of Turnout Type Selection on Carrying Capacity of Suburban Railway[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(6)：61-70.

道岔选型对市域铁路通过能力的影响研究

于 策[1, 2]，顾保南[1, 2]

(1.同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室，上海 201804；2.同济大学 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室，上海 201804)

摘 要：市域铁路部分车站设有道岔，为了探究道岔选型对快慢车越行模式下线路通过能力的影响，以车站咽喉区长度、列车运动状态、列车区间运行时分、列车间隔时间为中间变量，明确了线路通过能力计算方法，分析了道岔选型通过中间变量对线路通过能力的影响趋势。案例考虑9号、12号道岔，逐站筛选满足要求且有比较优势的岔型，组合形成16个道岔方案并仿真计算。结果表明，道岔选型以咽喉区总长度213 m的调整幅度(占全线长度0.46%)引起线路通过能力3.26%的变化，但咽喉区总长度与线路通过能力并非纯粹的正相关关系。快慢车模式下，调整道岔方案是提高线路通过能力的有效手段，能力与部分列车区间运行时分、列车间隔时间直接相关，调整直接影响这些因素的岔型以缩小快慢车区间运行时分差、列车间隔时间，才能提高能力。

关键词：市域铁路；道岔选型；线路通过能力；列车区间运行时分；列车间隔时间
中图分类号：U292.5+3；U239.5 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20251015001

Research on Impact of Turnout Type Selection on Carrying Capacity of Suburban Railway

YU Ce[1, 2]，GU Baonan[1, 2]

(1. Experimental Teaching Center of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Some stations on suburban railways are equipped with turnouts. To investigate the impact of turnout type selection on line carrying capacity under express and local train overtaking mode, station throat area length, train motion state, train inter-station running time, and train headway were taken as intermediate variables, and the calculation method of line carrying capacity was specified; the impact trend of turnout type selection on line carrying capacity through intermediate variables was analyzed. By considering No. 9 and No. 12 turnouts as cases, the turnout types meeting requirements and having comparative advantages were screened station by station, and 16 turnout schemes were combined and simulated. The results show that the turnout type selection causes a 3.26% change in line carrying capacity with an adjustment amplitude of 213 m in total length of throat area (accounting for 0.46% of the total line length), but there is no purely positive correlation between the total length of throat area and line carrying capacity. Under the express and local train mode, adjusting the turnout scheme is an effective method to improve line carrying capacity. The capacity is directly related to partial train inter-station running time and train headways. Only by

收稿日期：2025-10-15

adjusting the turnout types that directly affect these factors to reduce the inter-station running time difference between express and local trains and the train headway can the capacity be improved.
Keywords: Suburban Railway; Turnout Type Selection; Line Carrying Capacity; Train Inter-Station Running Time; Train Headway

0　引言

市域铁路在都市圈内提供出行服务，通常采用快慢车越行模式，以兼顾不同的出行距离。但快慢车间的速度差异制约着列车开行频次，再加上客流在时间上不均匀分布的通勤特征，高峰时段市域铁路运能尤为紧张。新建市域铁路正线采用9号或12号道岔[1]，岔型关系到车站咽喉区长度、列车运行速度，不但影响工程投资，也影响车站作业效率[2]。从通过能力的角度评价道岔方案有利于提升道岔选型的科学性。

相关研究主要聚焦在道岔选型对列车间隔时间的影响。程雯[3]分别计算了地铁站9号、12号交叉渡线的折返能力。滕宇蛟[4]、魏玉光等[5]指出双线重载铁路车站通过能力由出发追踪间隔时间控制，大号码道岔的出发追踪间隔时间更小。朱长青等[6]认为到达间隔时间是控制城际铁路列车开行频率的决定因素，虽然18号道岔的到达间隔时间更小，但12号道岔整体上更有优势。臧天晓[7]、李潇[8]指出，高速铁路车站通过能力同样由到达间隔时间控制，提高列车过岔速度是压缩列车间隔时间的有效手段，相比12号道岔，18号道岔能显著提升车站通过能力。胡楚璇等[9]进一步分析了道岔选型对站内速度较低的高速铁路尽端式车站的影响，相较全18号道岔方案，部分采用12号道岔方案、全12号道岔方案的车站咽喉区长度依次大幅缩减，而车站通过能力仅依次小幅下降。

相关研究着眼于一个车站，不区分列车类型，认为车站通过能力取决于一两个列车间隔时间，并以瓶颈车站的通过能力代表全线能力。然而，市域铁路快慢车模式不再符合平图特征，实际能够开行的列车数量受到更多车站、更多类型的列车间隔时间的共同约束，甚至还包括列车区间运行时分的影响，计算通过能力时应将各车站、区间同时纳入考量。为此，从道岔选型出发，梳理岔型影响市域铁路通过能力的内在逻辑，揭示通过能力随道岔选型变化的规律。

1　线路通过能力计算方法

1.1　研究范围与思路

从列车作业条件的角度，市域铁路常见中间站型[10]可归纳为3种，即无到发线的中间站(以下简称“站型1”)、设有到发线且正线不邻靠站台的中间站(以下简称“站型2”)、设有到发线且正线邻靠站台的中间站(以下简称“站型3”)。中间站布置图型如图1所示，以下仅考虑这3种站型及少量单渡线的简单场景。每个中间站有2个咽喉区，每个咽喉区统一采用一种道岔。

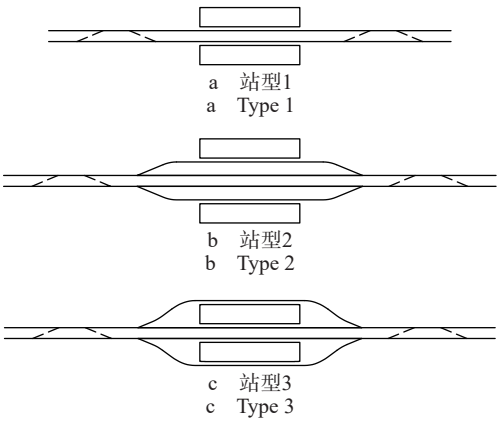


图1　中间站布置图型

Fig.1　Intermediate station layout types

不同型号道岔的长度、辙叉角、允许速度不同，在设有道岔的车站，岔型影响咽喉区长度、列车运行速度，进而影响列车区间运行时分、列车间隔时间，最终影响到线路通过能力。道岔选型对线路通过能力的影响逻辑如图2所示。

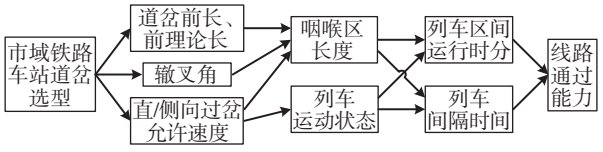


图2　道岔选型对线路通过能力的影响逻辑

Fig.2　Influence logic of turnout type selection on line carrying capacity

1.2　车站咽喉区长度

咽喉区长度指车站出站信号机至反向进站信号机的距离，或进站信号机至股道反向出站信号机的

距离[11]。车站不设到发线且咽喉区不设渡线则不涉及道岔，其进站与反向出站信号机、出站与反向进站信号机宜并置设置[12]，咽喉区长度为0；其他情况都要在咽喉区设置道岔，咽喉区长度受道岔与道岔[1]、道岔与信号机[13-14]等位置关系的约束，2种典型的车站咽喉区布置形式如图3所示，单个咽喉区长度、咽喉区总长度可依次通过式(1)—(2)计算，部分道岔参数如表1所示。

$$l_{\mathrm{th},\,i}=\begin{cases}\left(2a_i+f_i+\dfrac{s_i}{\tan\alpha_i}\right)\times n_{\mathrm{c},\,i}+l_{\mathrm{x},\,i}+a_{0,\,i}+50 & \text{设到发线}\\ \left(2a_i+f_i+\dfrac{s_i}{\tan\alpha_i}\right)\times n_{\mathrm{c},\,i}+2(a_{0,\,i}-a_i)-f_i+50 & \text{不设到发线、设渡线}\\ 0 & \text{不设到发线、不设渡线}\end{cases}$$

$$i\in\{1,\ 2,\ \cdots,\ 2n_{\mathrm{s}}\} \tag{1}$$

$$l_{\mathrm{th}}=\sum_{i=1}^{2n_{\mathrm{s}}}l_{\mathrm{th},\,i} \tag{2}$$

式中：$l_{\mathrm{th},\,i}$为咽喉区i长度，m；a_i为咽喉区i采用道岔的前长，m；f_i为咽喉区i内对向单开道岔间插入钢轨的最小长度，直向通过速度不超过140 km/h时，取值12.5，否则取值25[1]，m；s_i为咽喉区i内正线间距，m；α_i为咽喉区i采用道岔的辙叉角，°；$n_{\mathrm{c},\,i}$为咽喉区i内渡线数量，组；$l_{\mathrm{x},\,i}$为咽喉区i内信号机至岔心的距离，m；$a_{0,\,i}$为咽喉区i采用道岔的前理论长，m；n_{s}为车站数量，$2n_{\mathrm{s}}$即为咽喉区数量，个；l_{th}为咽喉区总长度，m。

信号机至岔心的距离应满足限界的要求。以车载信号为列车行车凭证的线路采用矮型信号机[13]，直线段信号机基础中心距线路中心不少于2 195 mm[15]，且信号机距警冲标沿线路方向不小于5 m[13]，而直线段警冲标设在距离相邻线路中心各为2 m的地方[14]。在曲线段，警冲标、信号机的设备限界还应加宽[1, 16]。信号机至岔心的距离可通过工程设计确定，部分数值见表1。车站道岔升级(由9号调整为12号，反之为降级)，咽喉区长度随之增加。

1.3　列车运动状态

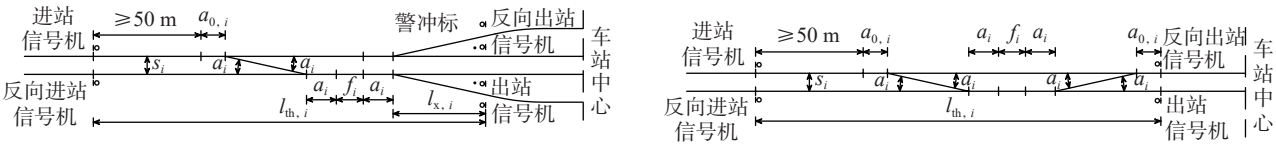
列车既受所在线路允许速度的约束，又不能超出所经道岔的允许速度，邻靠站台时还受站台的影响。列车允许速度根据式(3)—(4)计算。

$$v_{\mathrm{m},\,i}=\begin{cases}\min\left(v_{\mathrm{sec}},\ v_{\mathrm{s},\,i}\right) & \text{正线不邻靠站台}\\ \min\left(v_{\mathrm{sec}},\ v_{\mathrm{s},\,i},\ v_{\mathrm{p}}\right) & \text{正线邻靠站台}\end{cases}$$

$$i\in\{1,\ 2,\ \cdots,\ 2n_{\mathrm{s}}\} \tag{3}$$

$$v_{\mathrm{r},\,i}=\min\left(v_{\mathrm{sec}},\ v_{\mathrm{l},\,i},\ v_{\mathrm{p}}\right)\qquad i\in\{1,\ 2,\ \cdots,\ 2n_{\mathrm{s}}\} \tag{4}$$

式中：$v_{\mathrm{m},\,i}$，$v_{\mathrm{r},\,i}$分别为与咽喉区i相接的车站正线、到发线允许速度，km/h；v_{sec}为区间允许速度，km/h；$v_{\mathrm{s},\,i}$，$v_{\mathrm{l},\,i}$分别为咽喉区i采用道岔的直向、侧向过岔允许速度，km/h；v_{p}为股道邻靠站台时的允许



a　设到发线、1组渡线
a　With arrival-departure track and one crossover

b　不设到发线、设2组渡线
b　With no arrival-departure track but two crossovers

图3　车站咽喉区布置形式

Fig.3　Layout forms of station's throat area

表1　部分道岔参数

Tab.1　Partial turnout parameters

道岔号码	道岔图号	允许过岔速度/(km/h)		道岔前长/m	前理论长/m	辙叉角	正线间距/m[1]	信号机至岔心距离/m(对应不同的到发线与正线间距)			
		直向	侧向					5	5.5	6~6.5	≥12
9	研线1609	120	35	13.839	11.239	6°20′25″	4.2	44.247 6	43.031 7	43.031 7	41.110 8
	SC402	160	35	14.015	11.415						
12	研线16121	120	45	16.592	14.617	4°45′49″	4.5	56.989 4	54.953 3	54.767 6	51.066 8
	研线16122	160	45	16.592	14.617						

注：道岔型号筛选自《铁路道岔设备型号目录》中有砟、60 kg/m钢轨的9和12号单开道岔，参数来源于《60 kg/m钢轨9号单开道岔铺设图》《时速160公里60 kg/m钢轨9号单开道岔》《60 kg/m钢轨12号单开道岔铺设图》等。

速度，km/h。

市域铁路设计速度一般为100~160 km/h，列车通过站台的实际运行速度一般不大于80 km/h[1]。道岔的直向过岔允许速度一般不低于路段设计速度[1]，9号、12号道岔侧向过岔允许速度均低于站台要求的80 km/h[17]。因此列车在车站正线的允许速度不受道岔影响，在到发线的允许速度取决于道岔的侧向过岔允许速度，而侧向过岔允许速度随道岔号码的增加而增加[17]。

列车不运缓，基于各站型及列车性能，结合列车允许速度及其对应范围[18]，仿真计算可得列车速度连续变化曲线。列车在车站前后的运动状态如图4所示。

1.4　列车区间运行时分

列车区间运行时分指列车从一个车站停车标运动至下一个车站停车标的用时，由站间距和列车在每个位置的瞬时速度共同决定，通过式(5)计算。

$$T_{i,j}=\int_{S_i}^{S_{i+1}}\frac{3.6}{v_j(s)}\mathrm{d}s \qquad i\in\{1,2,\cdots,n_s-1\} \tag{5}$$

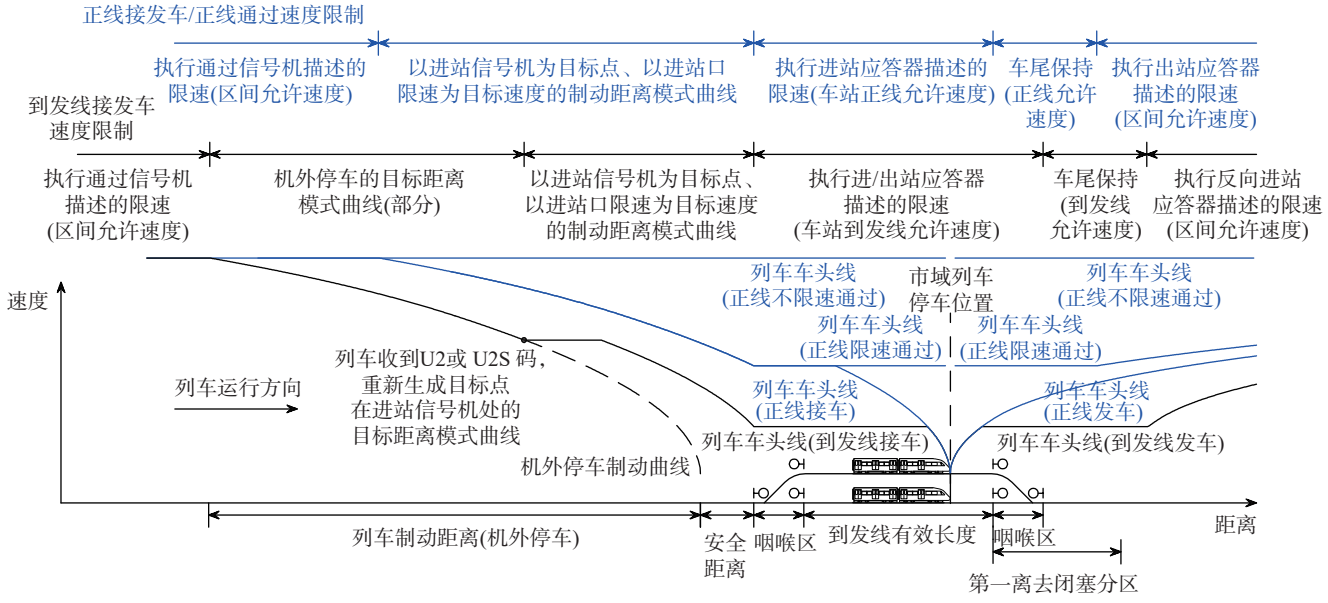
式中：$T_{i,j}$为列车j在区间i的运行时分，s；S_i为车站i停车标里程，m；$v_j(s)$为列车j在位置s处的瞬时速度，km/h。

道岔选型影响咽喉区长度和侧向过岔允许速度。部分列车在咽喉区范围内需保持与到发线相同的限速值，此时列车区间运行时分随咽喉区长度的增加而增加。停靠到发线的列车需侧向过岔，提高侧向过岔允许速度能降低列车区间运行时分。基于各站型，参照图4，升级道岔对列车区间运行时分的影响如表2所示。

1.5　列车间隔时间

列车间隔时间指列车运行图中相邻列车运行线间应保持的最小间隔时间[19]，此处仅考虑同向，包括区间追踪间隔时间及2列车依次在车站到达、出发或通过的间隔时间。区间追踪间隔时间不涉及道岔[11]，其他列车间隔时间按前后列车作业方式可整理为13种。同向列车间隔时间通常由前后列车各自经过指定范围的用时及车站办理列车作业的时间构成，同向列车间隔时间类型及其受道岔升级的影响如表3所示，计算方法整合至式(6)。增加车站两端咽喉区长度，该站的列车间隔时间可能增加，也可能不变；提高侧向过岔允许速度，列车间隔时间的变化各有不同。

$$I_{i,j,k}=\int_{S_i}^{S_{i,j}}\frac{3.6}{v_j(s)}\mathrm{d}s+\int_{S_{i,k}}^{S_i}\frac{3.6}{v_k(s)}\mathrm{d}s+T_w \qquad i\in\{1,2,\cdots,n_s\},\ j\neq k \tag{6}$$



注：适用于CTCS-2级列控系统；仅作示意，未体现信号延迟、列车空走距离等，未区分信号机与应答器的位置差异。

图4　列车在车站前后的运动状态

Fig.4　Train motion state before and after arriving at station

表2　升级道岔对列车区间运行时分的影响

Tab.2　Impact of upgrading turnout on train inter-station running time

列车位置	对应区间	列车作业方式	适用站型	增加咽喉区长度	提高侧向过岔允许速度
离去车站	车站出站端	正线不限速通过	2	–	–
		正线限速通过	1，3	–	–
		正线出发	1，3	–	–
		到发线出发	2，3	↗	↘
接近车站	车站进站端	正线不限速通过	2	–	–
		正线限速通过	1，3	↗	–
		正线到达	1，3	↗	–
		到发线到达	2，3	↗	↘

注：↗，↘，–，分别表示列车在对应区间的运行时分随有关因素的变化而增加、减少、不变，过程可逆。

表3　同向列车间隔时间类型及其受道岔升级的影响

Tab.3　Types of same-direction train headway and impact of upgrading turnout on them

列车间隔时间类型		适用站型	列车间隔时间构成			车站进站端				车站出站端			
			列车走行路径[19-20]		作业时间/s	增加咽喉区长度		提高侧向过岔允许速度		增加咽喉区长度		提高侧向过岔允许速度	
前车	后车		前车	后车		前车	后车	前车	后车	前车	后车	前车	后车
正线—出发	正线—到达	1，3	自越过停车标，至车尾越过出站信号机	自机外停车制动距离起点，至抵达停车标	26	–	↗	–	–	–	–	–	–
正线—通过	正线—到达	1，3			26	–	↗	–	–	–	–	–	–
到发线—出发	到发线—到达	2，3			26	–	↗	–	↘	–	–	↘	–
正线—到达	到发线—到达	3	自车尾越过反向出站信号机，至抵达停车标*		36	–	↗	–	↘	–	–	–	–
正线—通过	到发线—到达	2，3			36	–	↗	–	↘	–	–	–	–
到发线—到达	正线—到达	3			36	–	↗	↗*	–	–	–	–	–
到发线—到达	正线—通过	2，3			31	–	↗	↗*	–	–	–	–	–
正线—通过	正线—通过	1，2，3	自越过停车标，至出清一离去	不涉及	21	–	↗	–	–	↗/–	–	–	–
正线—出发	正线—通过	1，3			21	–	↗	–	–	↗/–	–	–	–
到发线—出发	正线—通过	2，3			31	–	↗	–	–	↗/–	–	↘	–
正线—出发	到发线—出发	3			47	–	–	–	–	↗/–	–	–	–
正线—通过	到发线—出发	2，3			47	–	–	–	–	↗/–	–	–	–
到发线—出发	正线—出发	3			47	–	–	–	–	↗/–	–	↘	–

注：↗，↘，–，分别表示该列车间隔时间随有关因素的变化而增加、减少、不变，过程可逆；*，表示列车间隔时间与该部分时间反相关，即$S_{i,\,j} < S_i$。

$$\text{s.t. } S_{i,\,j} = \begin{cases} S_i + l_{\mathrm{sg},\,i} + l_{\mathrm{b},\,i} + l_{\mathrm{t}} & \text{前车出发/通过，后车出发/通过} \\ S_i + l_{\mathrm{sg},\,i} + l_{\mathrm{t}} & \text{前车出发/通过，后车到达，前后车同股道} \\ S_i - l_{\mathrm{a},\,i} + l_{\mathrm{t}} & \text{其他} \end{cases}$$

$$S_{i,\,k} = \begin{cases} S_i & \text{后车出发} \\ S_i - l_{\mathrm{a},\,i} - l_{\mathrm{th},\,2i-1} - l_{\mathrm{s}} - l_{\mathrm{br},\,i,\,k} & \text{其他} \end{cases}$$

式中：$I_{i,\,j,\,k}$为前车j、后车k在车站i的某类型列车间隔时间，s；$S_{i,\,j}$，$S_{i,\,k}$分别为该列车间隔时间构成中前车j走行路径的起点或终点(区别于S_i)，后车k走行路径的起点，m；T_{w}为车站办理列车作业的时间，s；$l_{\mathrm{sg},\,i}$为车站i停车标至出站信号机的距离，m；l_{t}为列车长度，m；$l_{\mathrm{b},\,i}$为车站i第一离去闭塞分区长度，不短于出站端咽喉区长度，即$l_{\mathrm{b},\,i} \geqslant l_{\mathrm{th},\,2i}$，m；$l_{\mathrm{a},\,i}$为车站$i$反向出站信号机至停车标的距离，m；$l_{\mathrm{s}}$为安全防护距离，m；$l_{\mathrm{br},\,i,\,k}$为列车$k$接近车站$i$时列控车载设备监控制动距离，与列车$k$初速度及制动性能有关，m。

1.6　线路通过能力

线路通过能力是指在一定的动车组、行车组织方法条件下，市域铁路各种固定设备单位时间内所能通过或接发的最多列车对数或列数[21]。快慢车模式下，假设快慢比为m：n，将这m+n列车视作1个快慢车组合，该组合的周期时间为T，快慢车组合周期如图5所示，线路通过能力通过式(7)计算。

$$N = \frac{t(m+n)}{T} \tag{7}$$

式中：N为线路通过能力，列；t为研究时长，s。

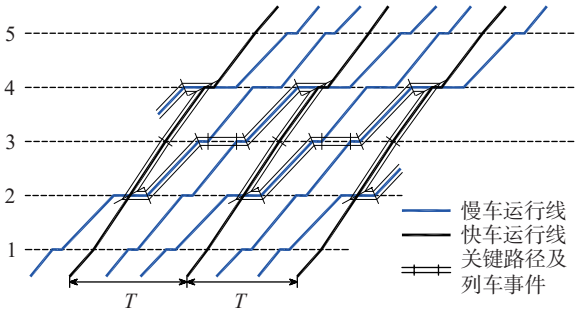


图5　快慢车组合周期

Fig.5　Combination cycle of express and local trains

提升线路通过能力的关键在于压缩快慢车周期T，极限状态下的周期T因一系列首尾相接的列车区间运行时分、列车间隔时间、列车停站时间(与道岔选型无关)的约束而不能再压缩[22]。连接这些因素构成图5所示关键路径。周期T可通过式(8)计算。

$$T = \sum_{i=1}^{n_s-1}\sum_{j=1}^{m+n}\sigma_{i,j}T_{i,j} + \sum_{i=1}^{n_s}\sum_{j=1}^{m+n+1}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{m+n+1}\tau_{i,j,k}I_{i,j,k} + \sum_{i=2}^{n_s-1}\sum_{j=1}^{m+n}\kappa_{i,j}T_{\mathrm{dw},i,j} \tag{8}$$

式中：$T_{\mathrm{dw},i,j}$为列车j在车站i的最小停站时间，s；$\tau_{i,j,k}$为系数，关键路径经过的列车间隔时间取值±1，否则为0；$\sigma_{i,j}$，$\kappa_{i,j}$均为系数，关键路径经过的列车区间运行时分、列车停站时间取值1，否则为0。

关键路径汇集了所有直接影响线路通过能力的因素，从关键路径的构成可以看出线路通过能力(快慢车周期T)的特点如下。

(1) 关键路径集中在若干连续的车站、区间，可能覆盖全线，也可能只涉及1个车站，线路通过能力与这些车站、区间直接相关。

(2) 关键路径中列车间隔时间类型多样，包括而不限于通发间隔时间、同股道发到间隔时间、不同股道到达间隔时间，这增加了快慢车周期计算的复杂性。快慢车周期T随关键路径中列车间隔时间的增减而增减。

(3) 关键路径内可能包含列车区间运行时分，快慢车周期T随关键路径中快慢车区间运行时分之差的增减而增减。

2　案例分析

2.1　案例背景

某新建市域铁路设计速度160 km/h，车站内邻靠站台的股道限速80 km/h，到发线有效长度(车站两咽喉区之间)均为390 m，快慢车1∶1周期性开行，市域铁路部分设备参数及列车停站计划如表4所示。采用CTCS-2级列控系统，车站采用一次解锁方式，安全距离60 m，停车标至出站信号机距离94 m，作业办理时间如表3所示。列车均为CRH6F型动车组，全长201.4 m，牵引[23]、制动[24]性能使用系数0.9，制动空走时间3 s。备选道岔为表1中的4种道岔，每个车站的道岔统一为一种型号，忽略道岔选型引起的区间线路平纵断面及站间距的变化。仅考虑列车单方向运行。

表4　市域铁路部分设备参数及列车停站计划

Tab.4　Partial equipment parameters and train stopping plan of suburban railway

车站/区间	站型	小/大里程端渡线数量/组	站间距/m	快车停站时分/s	慢车停站时分/s
1	3	—/1	4 713	始发	始发
2	1	0/0	9 669	—	35
3	3	1/1	9 723	35	35
4	1	0/0	3 475	—	35
5	1	0/0	2 851	—	35
6	2	0/1	3 635	—	35
7	1	2/0	3 825	—	35
8	1	0/0	3 530	35	35
9	1	0/0	4 616	—	35
10	3	2/—	—	终到	终到

注：车站1小里程端、车站10大里程端咽喉区布置与该段线路通过能力无关，不纳入考量。

2.2　道岔方案

车站7采用站型1，小里程端设渡线。该站不涉及列车侧向过岔，道岔研线1609-9直向过岔允许速度足够覆盖80 km/h的过站限速要求。相比之下，采用其他岔型不改变列车运行速度，而增加车站(站型1)小里程端咽喉区长度对线路通过能力的影响如图6所示，这无益于提升线路通过能力，反而增加工程费用、降低技术速度，该站不再考虑其他岔型。

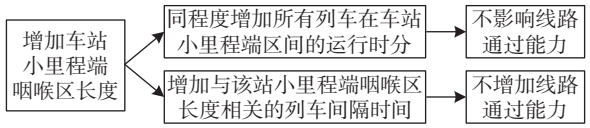


图6　增加车站(站型1)小里程端咽喉区长度对线路通过能力的影响

Fig.6　Impact of increasing throat area length at small mileage end of station (station type 1) on line carrying capacity

站型3正线邻靠站台，限速80 km/h。相比于岔型研线16121−12，采用研线16122−12对咽喉区长度、列车运行无任何影响；相比于岔型研线1609−9，采用SC402−9不提高列车运行速度，由式(1)计算可知单个咽喉区长度增加不超过0.88 m，对区间运行时分、列车间隔时间影响可忽略不计。

不设渡线的站型1不铺设道岔。站型2正线不邻靠站台，列车过站允许速度不应低于区间允许速度[1]。各站道岔型号选取范围如表5所示，道岔选型仅限于车站1，3，6，10，其中每个车站有2种岔型可供选择，可产生$2^4 = 16$个方案。以“0”代表9号道岔，“1”代表12号道岔，16个方案分别记为“0000”—“1111”。

表5　各站道岔型号选取范围

Tab.5　Turnout model selection range of each station

车站	站型	选取范围	备注
2，4，5，8，9	1	—	不设渡线
7	1	研线1609−9	小里程端设八字渡线
6	2	SC402−9，研线16122−12	直线过岔允许速度160 km/h
1，3，10	3	研线1609−9，研线16121−12	直向过岔允许速度120 km/h

2.3　快慢车周期计算

通过仿真计算确定各列车区间运行时分、列车间隔时间。经试算，不论哪个道岔方案，快车在车站1停靠任意股道，在车站3停靠正线，在车站10停靠到发线，慢车在这3个车站停靠另一股道；快慢车越行方案如图7所示，快车在车站3，6依次越行慢车，总是可以实现线路通过能力最大化。各方案关键路径及快慢车周期如图8所示，快慢车周期均未受到列车区间追踪间隔时间的影响。除了再次验证线路通过能力的3个特点，从图8还可以看出，关键路径不是固定不变的，而是随约束条件的变化动态调整。

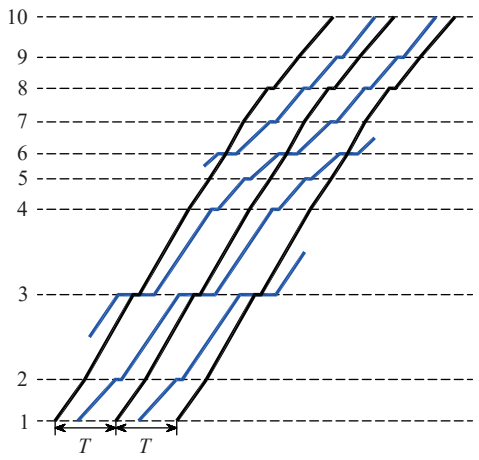


图7　快慢车越行方案

Fig.7　Overtaking scheme of express and local trains

2.4　道岔选型对线路通过能力的影响

升级道岔对咽喉区总长度、线路通过能力的影响如图9所示，可以看出以下现象。

（1）道岔选型显著影响线路通过能力。每升级1个车站的道岔，咽喉区总长度都会增加，从方案0000的1 292 m到方案1111的1 505 m，增幅213 m，仅占线路全长的0.46%，而这一过程引起线路通过能力的波动幅度达3.26%(相对于方案0000，下同)。

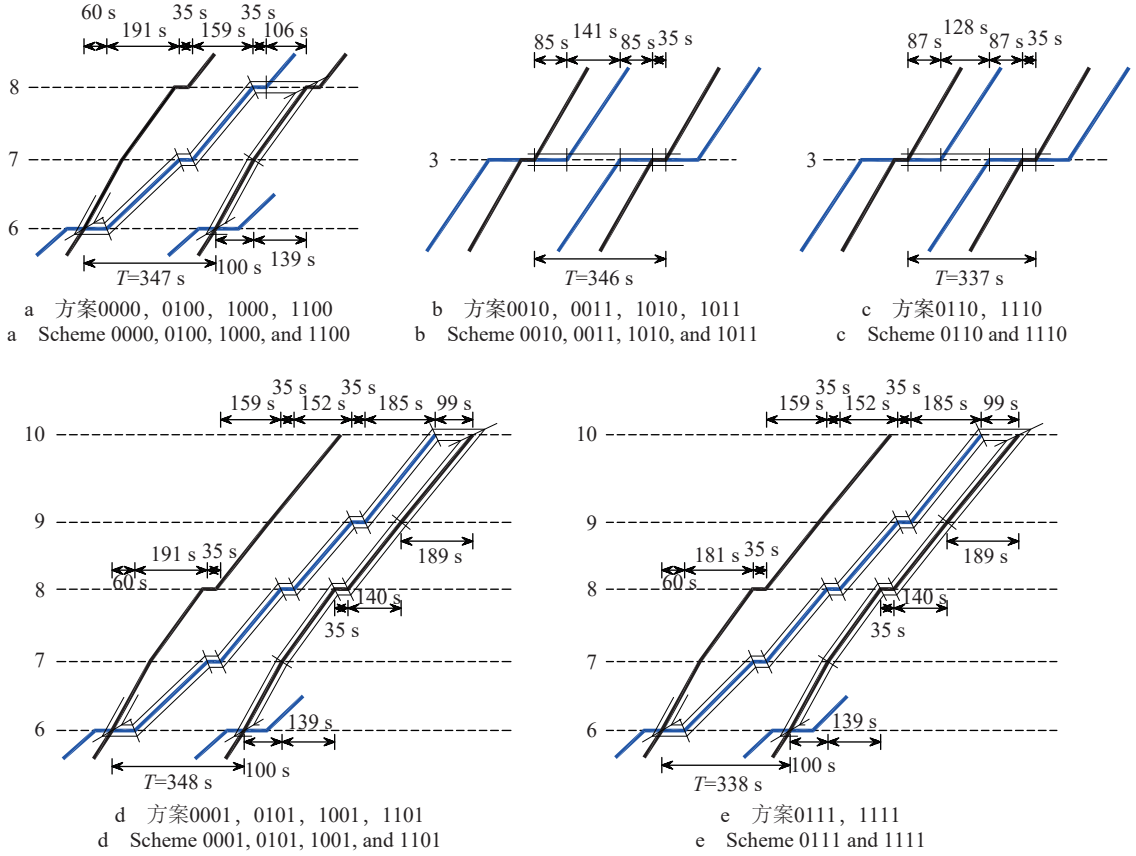
（2）道岔号码与线路通过能力之间不存在确定的正相关关系。方案0000中9号道岔最多，线路通过能力最小的却是方案0001，1001，0101，1101；方案1111中12号道岔最多，能力最大的却是方案0110，1110。这与车站通过能力(随大号码道岔占比提高而提高[9])不同。

（3）对于同一方案，调整不同车站岔型对线路通过能力的影响不同。如，相较于方案0100，升级车站6的岔型(方案0110)线路通过能力提升2.97%，升级车站1的岔型(方案1100)不影响线路通过能力，升级车站10的岔型(方案0101)能力反而损失0.29%。

（4）对于不同方案，调整同一个车站岔型对线路通过能力的影响也不同。如，同样是升级车站3的岔型，对于方案0010，1010，线路通过能力能提升2.68%，对于方案0011，1011，则只能提升2.37%，对于方案0000，0001，1000，1001则不变。

这些现象与关键路径高度相关，基于关键路径，规律逐渐显现。

（1）关键路径是直接影响线路通过能力的因素的集合，调整路径之外车站的道岔不改变原有约



a　方案0000，0100，1000，1100
a　Scheme 0000, 0100, 1000, and 1100

b　方案0010，0011，1010，1011
b　Scheme 0010, 0011, 1010, and 1011

c　方案0110，1110
c　Scheme 0110 and 1110

d　方案0001，0101，1001，1101
d　Scheme 0001, 0101, 1001, and 1101

e　方案0111，1111
e　Scheme 0111 and 1111

图8　各方案关键路径及快慢车周期

Fig.8　Critical path and cycle of express and local trains of each scheme

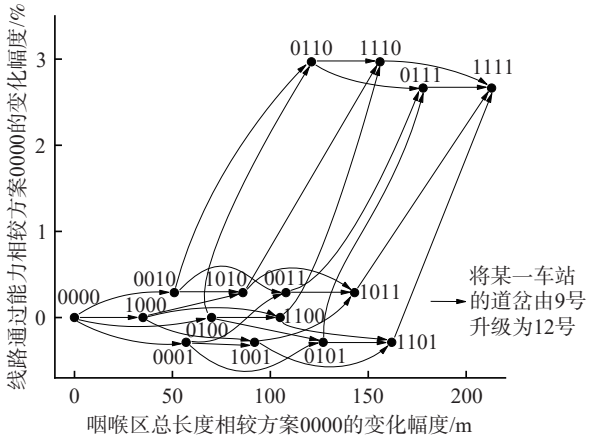


图9　升级道岔对咽喉区总长度、线路通过能力的影响

Fig.9　Impact of upgrading turnout on total length of throat area and line carrying capacity

束，反而可能加剧其他约束，乃至改变关键路径，快慢车周期不但不会缩短，还有可能增加。图9中有42处调整(双向，道岔升级或降级)的道岔在关键路径之外，其中28处能力不变(道岔升级、降级各14处)，14处能力下降(道岔升级6处、降级8处)，无一处增加。

(2) 调整关键路径内车站的道岔可以改变原有约束，无论道岔升级或降级，只要减少关键路径中快慢车区间运行时分差，或缩短关键路径中的列车间隔时间(两方面同时成立，或占主导地位的一方成立)，就能够提升能力。图9中有22处调整的道岔位于关键路径内，其中18处能力提升(12处道岔升级，6处道岔降级)，4处能力下降(均为道岔降级)，调整关键路径内车站道岔对线路通过能力的影响及其主要原因如表6所示。由于股道选择的原因，快慢车都可能侧向过岔，通过调整道岔实现慢车提速或快车降速，都可以提高能力。

道岔选型对线路通过能力的影响看似充满不确定性，但工程实践中基于规律也可去芜存菁。例如，方案0000咽喉区总长度最短，方案0110线路通过能力最大，方案0010介于两者之间，其他每个方案都逊色于这3个方案中的某一个，没有比较优势。若从咽喉区总长度最短的方案0000出发，其关键路径中唯独车站6具备道岔选型条件……至方案0010，其关键路径只包含车站3且该站也具备

表6　调整关键路径内车站道岔对线路通过能力的影响及其主要原因

Tab.6　Impact of adjusting station turnout in critical path on line carrying capacity and its main reason

道岔升级	关键路径	能力变化	主要原因	道岔降级	关键路径	能力变化	主要原因
0010→0110 1010→1110 0011→0111 1011→1111	车站3	↗	车站3发到间隔时间缩短13 s	0110→0010 1110→1010	车站3	↘	车站3发到间隔时间增加13 s
				0111→0101 1111→1101	车站6—10	↘	慢车区间6运行时分增加10 s
0000→0010 0100→0110 1000→1010 1100→1110	车站6—8	↗	慢车区间6运行时分减小10 s	0001→0000 0101→0100 0111→0110 1001→1000 1101→1100 1111→1110	车站6—10	↗	快车区间9运行时分增加10 s
0001→0011 0101→0111 1001→1011 1101→1111	车站6—10	↗					

道岔选型条件……至方案0110，如此即筛选出了所有有比较价值的方案，而不必再详细计算其他方案。

3　结束语

相较于道岔选型对咽喉区长度的工程影响，其对线路通过能力的影响更突出，能力应作为道岔方案的决策依据之一。快慢车越行模式下，线路通过能力不再由单一车站决定，能力计算时应统筹考虑相关车站、区间。升级大号码道岔未必能提升线路通过能力，道岔方案比选时应详细计算各方案，而由于能力通常只受控于部分列车区间运行时分、列车间隔时间，实践中可排除无比较优势的方案以减少运算量。研究对市域铁路建设、运营、改造有一定的指引作用。案例未涉及更多的快慢车比例和越行方案，未讨论咽喉区长度对平纵断面的影响，后续可进一步深化研究。

参考文献：

[1] 国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范：TB 10624—2020[S]. 北京：中国铁道出版社有限公司，2021：14-41.

[2] 党杨瑞. 基于道岔分组的高速铁路车站咽喉通过能力计算[J]. 铁道运输与经济，2024，46(4)：9-18.
DANG Yangrui. Calculation of Throat Capacity of High Speed Railway Station Based on Turnout Grouping[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(4)：9-18.

[3] 程　雯. 北京地铁6号线五路居站道岔型号及折返能力分析[J]. 铁道标准设计，2013，57(1)：13-16.
CHENG Wen. Analysis on Turnout Model and Turn-Back Ability of Wuluju Station of Beijing Metro Line 6[J]. Railway Standard Design，2013，57(1)：13-16.

[4] 滕宇蛟. 基于重载铁路的技术站站场布置与咽喉区道岔选型研究[D]. 北京：北京交通大学，2011.

[5] 魏玉光，张红亮，杨　浩. 道岔选型对重载铁路车站通过能力影响的研究[J]. 中国铁道科学，2013，34(4)：95-98.
WEI Yuguang，ZHANG Hongliang，YANG Hao. Impact of Turnout Type Selection on Station Carrying Capacity of Heavy Haul Railway[J]. China Railway Science，2013，34(4)：95-98.

[6] 朱长青，霍　亮. 城际铁路客运站道岔型号选用的研究[J]. 铁道标准设计，2014，58(7)：4-8.
ZHU Changqing，HUO Liang. Research on How to Select the Type of Turnout Suitable for the Track at Passenger Station of Intercity Railway[J]. Railway Standard Design，2014，58(7)：4-8.

[7] 臧天晓. 高速铁路车站咽喉布置对列车追踪间隔的影响研究[D]. 北京：北京交通大学，2023.

[8] 李　潇. 基于目标间隔时间的高速铁路客站设计分析[J]. 铁道标准设计，2024，68(11)：18-24.
LI Xiao. Design Analysis of High Speed Railway Stations Based on Target Interval Time[J]. Railway Standard Design，2024，68(11)：18-24.

[9] 胡楚璇，魏玉光，于宗泽. 高速铁路车站道岔选型对咽喉长度及追踪间隔的影响[J]. 中国铁道科学，2024，45(3)：159-167.
HU Chuxuan，WEI Yuguang，YU Zongze. Influence of Turnout Type Selection on Throat Length and Headway of High Speed

Railway Station[J]. China Railway Science, 2024, 45(3): 159-167.

[10] 乔　木，姚丽萍. 市域(郊)铁路出入线接轨站咽喉通过能力计算研究[J]. 铁道运输与经济，2023，45(12)：28-35.
QIAO Mu，YAO Liping. Study on Throat Area Carrying Capacity Calculation of Urban(Suburban) Railway Entrance and Exit Line Junction Stations[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(12)：28-35.

[11] 田长海，张守帅，张岳松，等. 高速铁路列车追踪间隔时间研究[J]. 铁道学报，2015，37(10)：1-6.
TIAN Changhai，ZHANG Shoushuai，ZHANG Yuesong，et al. Study on the Train Headway on Automatic Block Sections of High Speed Railway[J]. Journal of the China Railway Society，2015，37(10)：1-6.

[12] 铁道部运输局. 无配线车站信号系统技术方案：运基信号〔2009〕716号[A]. 北京：铁道部运输局，2009.

[13] 国家铁路局. 铁路信号设计规范：TB 10007—2017[S]. 北京：中国铁道出版社，2017：7-9.

[14] 易思蓉. 铁路选线设计[M]. 成都：西南交通大学出版社，2017.

[15] 李强国. 铁路信号托架设计及进站信号机机构设置方案探讨[J]. 住宅与房地产，2021，(16)：87-88.

[16] 国家铁路局. 铁路车站及枢纽设计规范：TB 10099—2017[S]. 北京：中国铁道出版社，2017：9.

[17] 中华人民共和国铁道部. 铁路道岔的容许通过速度：TB/T 2477—2006[S]. 北京：中国铁道出版社，2006：3.

[18] 国家铁路局. CTCS-2级列控系统总体技术要求：TB/T 3516—2018[S]. 北京：中国铁道出版社，2018：8-11.

[19] 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 Yuesong，TIAN Changhai，JIANG Xinliang，et al. Calculation Method for Train Headway of High Speed Railway[J]. China Railway Science，2013，34(5)：120-125.

[20] 田长海，姜　博，赵建勋，等. 普速铁路列车追踪间隔时间计算方法研究[J]. 铁道学报，2022，44(11)：1-9.
TIAN Changhai，JIANG Bo，ZHAO Jianxun，et al. Research on Calculation Method of Conventional Railway Headway at Automatic Block Section[J]. Journal of the China Railway Society，2022，44(11)：1-9.

[21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 铁路行车组织词汇：GB/T 8568—2013[S]. 北京：中国标准出版社，2014：21.

[22] ZHONG Qinglun，XU Ruihua. Linear Time Train Contraction Minor Labeling for Railway Line Capacity Analysis[J]. Urban Rail Transit，2025，11：108-122.

[23] 焦京海，曹　江，刘江涛，等. 城际动车组牵引系统研制[J]. 机车电传动，2015(3)：5-9.
JIAO Jinghai，CAO Jiang，LIU Jiangtao，et al. Traction System Development for Intercity EMUs[J]. Electric Drive for Locomotives，2015(3)：5-9.

[24] 王晓东，林晓晨，李培署. 和谐号CRH6型动车组制动减速度设计与控制[J]. 铁道车辆，2016，54(6)：15-19，4.
WANG Xiaodong，LIN Xiaochen，LI Peishu. Design and Control of the Braking Deceleration of the CRH6 Multiple Units[J]. Rolling Stock，2016，54(6)：15-19，4.

(责任编辑　刘宁馨)