تحديد ممرات TOD وتصنيفها وأنماط تخطيطها من منظور توازن تدفقات الركاب: حالة شنغهاي

LIU Bing, WANG Zhiwei, WANG Geyang, ZHU Junyu, CAO Juanjuan, XU Lei

الملخص: يؤثر مستوى توازن تدفقات الركاب في ممرات التطوير الموجّه بالنقل العام (TOD) تأثيرا مباشرا في كفاءة التشغيل وجودة الخدمة، وتؤدي الروابط بين محطات الممر دورا حاسما في ذلك. اعتمادا على بيانات المنشأ-المقصد لشبكة النقل الحديدي في شنغهاي، يستخدم هذا البحث خوارزمية كشف المجتمعات لتحديد جماعات المحطات وثيقة الارتباط، ومن ثم تعيين نطاق مقاطع ممرات TOD وتصنيفها إلى ثلاثة أنماط: شعاعية، ومتعامدة، ومنحنية/ملتفة. كما يبني مؤشري توازن المقطع الطولي والتوازن ثنائي الاتجاه. وتكشف النتائج عن فروق ملحوظة بين الممرات في المؤشرين؛ وبالتصنيف الثنائي تتشكل أربعة أنماط: التوازن المزدوج، والتوازن الاتجاهي، والتوازن المقطعي، والاختلال المزدوج. وتميل ممرات التوازن المزدوج إلى تعدد المراكز واختلاط استعمالات الأرض، بينما تتسم ممرات الاختلال المزدوج بسلسلة من المناطق السكنية الطرفية. ومن منظور توازن الركاب، يقترح البحث مبادئ 5D على مستوى ممر TOD، ويوفر أسلوب تقسيم الممرات وتقييم توازن تدفقاتها إطارا تقنيا متكاملا لتحسين الفضاء على مستوى الممر وتحقيق التنسيق بين المحطات.

الكلمات المفتاحية: ممر TOD؛ توازن تدفقات الركاب؛ مؤشر توازن المقطع الطولي؛ مؤشر التوازن الاتجاهي؛ نمط ممر TOD المكاني؛ شنغهاي

تصنيف المكتبة الصينية: TU984؛ رمز الوثيقة: A

DOI: 10.16361/j.upf.202501014؛ رقم المقال: 1000-3363(2025)01-0102-09

نبذة عن المؤلفين: LIU Bing، أستاذ ومشرف دكتوراه في كلية العمارة والتخطيط الحضري بجامعة تونغجي؛ مختبر وزارة الموارد الطبيعية الرئيسي لتقنيات التخطيط الذكي للفضاء الإقليمي؛ مختبر شنغهاي الرئيسي للتجديد الحضري وتقنيات تحسين الفضاء؛ ومختبر وزارة التعليم الرئيسي لبيئة السكن عالية الكثافة والإيكولوجيا وترشيد الطاقة (جامعة تونغجي). البريد الإلكتروني: liubing1239@tongji.edu.cn؛ WANG Zhiwei، طالب دكتوراه في كلية العمارة والتخطيط الحضري بجامعة تونغجي، ومدير تخطيط ومخطط أول في معهد تخطيط النقل الحضري، شركة Suzhou Planning & Design Research Institute Co., Ltd.؛ WANG Geyang، مهندس في شركة Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.، وهو المؤلف المراسل. البريد الإلكتروني: wgy_8d183f@126.com؛ ZHU Junyu، مهندس في Shanghai Institute of Urban and Rural Construction and Transportation Development؛ CAO Juanjuan، نائبة رئيس المخططين ومهندسة أولى في Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.؛ XU Lei، طالب دكتوراه في كلية العمارة والتخطيط الحضري بجامعة تونغجي، ونائب كبير المهندسين ومهندس أول في معهد تصميم وتخطيط الفضاء الحضري والنقل، Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.

التمويل: المشروع العام للصندوق الوطني للعلوم الطبيعية في الصين: «النمط المكاني لممرات TOD للسكك الحضرية واستراتيجيات تحسينه من منظور توازن تدفقات الركاب: حالة منطقة شنغهاي الحضرية» (رقم 52178052)؛ مشروع التعاون بين الصناعة والجامعة لعام 2024 التابع لوزارة التعليم، Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.: «حالات مشاريع إعداد تخطيط النقل العام القائمة على التقنيات الرقمية» (رقم 231100155192902)؛ موضوع الاستشارات وصنع القرار لعام 2022 في شنغهاي الخاص بتخطيط المدن الجديدة وبنائها: «استراتيجيات تكامل النقل الأخضر منخفض الكربون مع الفضاء الحضري في مدن شنغهاي الجديدة في سياق التنمية عالية الجودة» (رقم 2022-A-07-Z).

1 خلفية البحث

1.1 نشأة مفهوم TOD وتطور الممارسة

في عام 1993 طرح بيتر كالثورب[1]، استنادا إلى نظرية العمران الجديد، مفهوم TOD بوصفه «تنمية مدمجة داعمة للنقل العام». وقد لبّى هذا المفهوم توجه «النمو الذكي» في أمريكا الشمالية، وأعاد قراءة خبرات التنمية على امتداد السكك الحديدية في أوروبا وآسيا، كما حفز ممارسات واسعة مقترنة ببناء نظم النقل العام. وبذلك أصبح TOD خلال العقود الثلاثة الماضية موضوعا محوريا في حقل التخطيط. وبما أنه يدعو إلى بيئة مشاة ملائمة، واختلاط وظيفي، وتنوع سكني، وصوغ مراكز عامة، وهي مبادئ تتسق مع كبح الامتداد الحضري وتحسين جودة الهواء وتعزيز التفاعل الاجتماعي، فقد صدرت سياسات TOD على مستويات المدن والأقاليم والدول، مثل أدلة أو لوائح دنفر[2] وأوستن[3] ودلهي[4]، واستراتيجيات وإرشادات وسط ماريلاند[5] ومنطقة خليج سان فرانسيسكو[6]، والسياسة الوطنية في ماليزيا[7]، فضلا عن الدعم المقدم من جهات دولية مثل معهد سياسات النقل والتنمية[8] والبنك الدولي[9].

دخل مفهوم TOD إلى الصين نحو عام 2000[10]. ركزت الدراسات الأولى على دور أنماط استعمالات الأرض المرتبطة بـ TOD في تعزيز النقل العام ومعالجة مشكلات المرورية الناتجة عن المكننة[11]. ثم أدرج «تسريع إنشاء نمط تنمية حضرية موجهة بالنقل العام» صراحة ضمن متطلبات مشروع «مدن النقل العام» النموذجي[12]. ومع اتساع أطوال شبكات السكك الحضرية، ازداد الاهتمام باستراتيجية «السكك + العقار» التي تسترد القيمة العقارية لدعم بناء السكك وتشغيلها؛ ففي عام 2016 عقدت اللجنة الوطنية للتنمية والإصلاح ندوة حول ابتكار آليات الاستثمار والتمويل في النقل الحديدي الحضري[13]، كما ازدادت البحوث الخاصة باسترداد فائض القيمة المرتبط بالسكك[14-18]. وعلى المستوى المحلي، تشهد الممارسات زخما كبيرا: فقد أعدت بكين وتيانجين وشنتشن وتشنغدو وهانغتشو ونانجينغ ودونغقوان وفوشان وسوتشو وغيرها استراتيجيات أو خططا خاصة بـ TOD. وتشير إحصاءات غير مكتملة إلى أن أكثر من نصف المدن الصينية التي افتتحت شبكات سكك حضرية، وعددها يتجاوز خمسين مدينة، وضعت سياسات للتطوير المتكامل حول المحطات، بما يشجع إعداد خطط TOD وتنفيذها[19].

1.2 تزايد الاهتمام بتطوير TOD على مستوى الممرات

بوصفه من أبرز قادة العمران الجديد المهتمين بالنمو الإقليمي، يؤكد كالثورب أن TOD في جوهره «نمط تنمية إقليمي للعمران الجديد»، غايته تكامل النقل العام مع استعمالات الأرض على المستوى الإقليمي لتكوين شكل مكاني أكثر انضغاطا[21]. ويتحقق نمط TOD الإقليمي بتنسيق عدد من تطويرات TOD على مستوى المحطات والأحياء على امتداد الخطوط الرئيسة والفرعية[1]، وتتطلب هذه البنية الشبكية المنتظمة للممرات الاعتماد على شبكة النقل العام لتنظيم الهيكل الحضري[22]. وتحت تأثير «مبادئ 3D»[23]، ركزت الدراسات والممارسات المبكرة على مستوى الحي، مع التشديد على تحسين البيئة المبنية في منطقة المحطة لتشجيع استعمال النقل العام[24-25]. غير أن تطوير TOD على مستوى المحطة المنفردة قد يخلق «جزرا» منفصلة[26]. ومن أجل التقاط أثر الشبكة الكلي، انتقل التركيز البحثي إلى المقياس الكلي[27]، وازداد الاهتمام بتخطيط TOD على مستوى الممر (Corridor TOD, CTOD)، أي تنسيق محطات الخط الواحد. وهكذا ارتقى TOD من أداة تخطيط مجتمعية على مستوى الحي إلى استراتيجية لإعادة تشكيل المدينة على المستوى الإقليمي[28].

في الولايات المتحدة، عدّ دليل Station Area Planning: How to Make Great Transit-Oriented Places مبكرا «الممر المختلط الوظائف» أحد أنماط مناطق محطات TOD[29]. ثم ميز تقرير Transit Corridors and TOD: Connecting the Dots بين ثلاثة مستويات مكانية: المحطة، والممر، والإقليم، وقسم TOD الممر إلى ثلاثة أنماط: ممر وجهة، وممر تنقل يومي، وممر دوران محلي[30]. وفي الصين، طرحت إرشادات تخطيط وتصميم المناطق الممتدة على خطوط السكك الحضرية توجيهات TOD على مستويات المدينة والخط والمحطة[31]، ثم أقامت «منصة TOD» التابعة لوزارة الإسكان والتنمية الحضرية والريفية نظام تقييم ومؤشرات من ثلاثة مستويات. واليوم يُفهم TOD كنمط تخطيط مكاني متعدد المقاييس يربط بين ترتيب الحي الدقيق واستراتيجية النقل الكبرى، ويهدف من خلال التخطيط المتكامل لاستعمالات الأرض والنقل إلى تعظيم كفاءة نقل الركاب العام[32]. ويقع TOD الممر بين مستويي المدينة والمحطة، وله دور مهم في تنسيق TOD المحطات لتكوين شبكة TOD تراتبية بأحجام ووظائف وأشكال متعددة[30].

1.3 تأخر نسبي في دراسات TOD الممر

رغم إدراك الحاجة إلى تحقيق أثر شبكي أكبر عبر TOD الممر[33]، لا تزال طرائق التخطيط على مستوى الممر غير ناضجة. وفي توسع نظرية TOD من مبادئ «3D» إلى «5D»، لا يعكس سوى مؤشر «إتاحة الوصول إلى الوجهات» أثر البنية الحضرية وشروط الشبكة على المستوى الكلي في تنمية النقل العام[24,34]. فهو يقيس سهولة الوصول من المحطات إلى مراكز النشاط وغيرها من نقاط الجذب، لكنه لا يشكل منظومة مبادئ متعددة الأبعاد لتوجيه التخطيط المكاني لممرات TOD. وقد اقترح Bertolini[35] نموذج العقدة-المكان (N-P) لتقييم توافق قيمة المحطة كعقدة وقيمتها كمكان، ويمكن استخدامه في تحليل متعدد المحطات على مستوى الممر والإقليم، إلا أنه يبقى نهجا عقديا قوامه وحدة المحطة. ورغم أن بعض الدراسات جمعت حديثا بين «مبادئ D» ونموذج N-P لتصنيف TOD[36-37]، فإنها لم تتجاوز حدود وحدة المحطة، ولا تزال عاجزة عن كشف الخصائص الكلية لتطوير TOD الممر وعلاقته بتدفقات الركاب. لذلك يصبح اعتماد ممر النقل العام كوحدة مكانية لدراسة TOD أمرا ضروريا[38-39]، إذ يتيح فرصا تخطيطية لتحسين النقل العام على امتداد الخطوط، ويوفر أساسا لتقييم مستوى التنسيق بين TOD المحطات. وقد خلص بعض الباحثين[33] إلى أن تحسين أداء تشغيل النقل العام يعد أحد الجوانب الرئيسة في بحوث TOD الممر.

يمكن تلخيص أوجه القصور الراهنة في بحوث TOD الممر في ثلاثة جوانب. أولا، لا تتسق أسس تحديد النطاق المكاني لممر النقل العام؛ فبعض الدراسات تختار خطا بعينه مباشرة[40]، وبعضها يبدأ من المقطع الأعلى حملا على الممر ويمد النطاق 3-5 km في الاتجاهين[41]، وبعضها يعتمد مجال السفر بمدة 55-65 min أو طول 15-20 [28](24-32 km) miles، بينما تستخدم أخرى خوارزميات كشف المجتمعات[42]، وهو ما يقلل قابلية المقارنة. ثانيا، لا تحظى توزيعات الركاب وحالة التشغيل بالاهتمام الكافي؛ فكثير من الدراسات تدعم التطوير عالي الكثافة حول المحطات لتعزيز النقل العام، ولا يلاحظ إلا قلة من الباحثين الآثار السلبية

للتدفقات الكبيرة على المقاطع في المناطق عالية الكثافة، مثل ما أظهرته دراسات تايبيه من أن تجاوز كثافة تطوير مناطق المحطات حدا معينا يؤثر في تشغيل النقل العام ومستوى خدمات المرافق العامة[43]. ثالثا، لا تزال قياسات علاقة استعمالات الأرض-النقل على مستوى الممر محدودة، وتنقصها مؤشرات كمية تصف البيئة المبنية في الممر وخصائص تدفقات الركاب. وقد بدأت الأدبيات التي تناقش تخطيط ممرات TOD من زاوية توازن التدفقات في الازدياد، مثل دراسة بوغوتا[44] التي وجدت أن اختلاط الوظائف والسكن على امتداد الخط يخفف ذروة الركاب ويحقق توازنا أفضل في التدفقات المقطعية، كما اهتم باحثون صينيون[45-46] بظاهرة التنقل pendular وتوازن حمل الركاب في النقل الحديدي، إلا أن النقاش النظري والمنهجي حول تخطيط ممرات TOD لا يزال محدودا للغاية.

يهدف هذا البحث إلى بناء إطار تقني لتخطيط TOD على مستوى الممر من منظور توازن تدفقات الركاب. وينطلق من تحديد نطاقات الممرات، ثم يقيس مستويات التوازن وأنماط التخطيط المكاني في الممرات المختلفة، بما يوفر سندا فعالا لتعزيز تنسيق التطوير بين المحطات وتحسين أداء تشغيل النقل العام.

2 تحديد ممرات TOD بناء على المقاطع وثيقة الارتباط

2.1 طريقة تحديد ممرات TOD

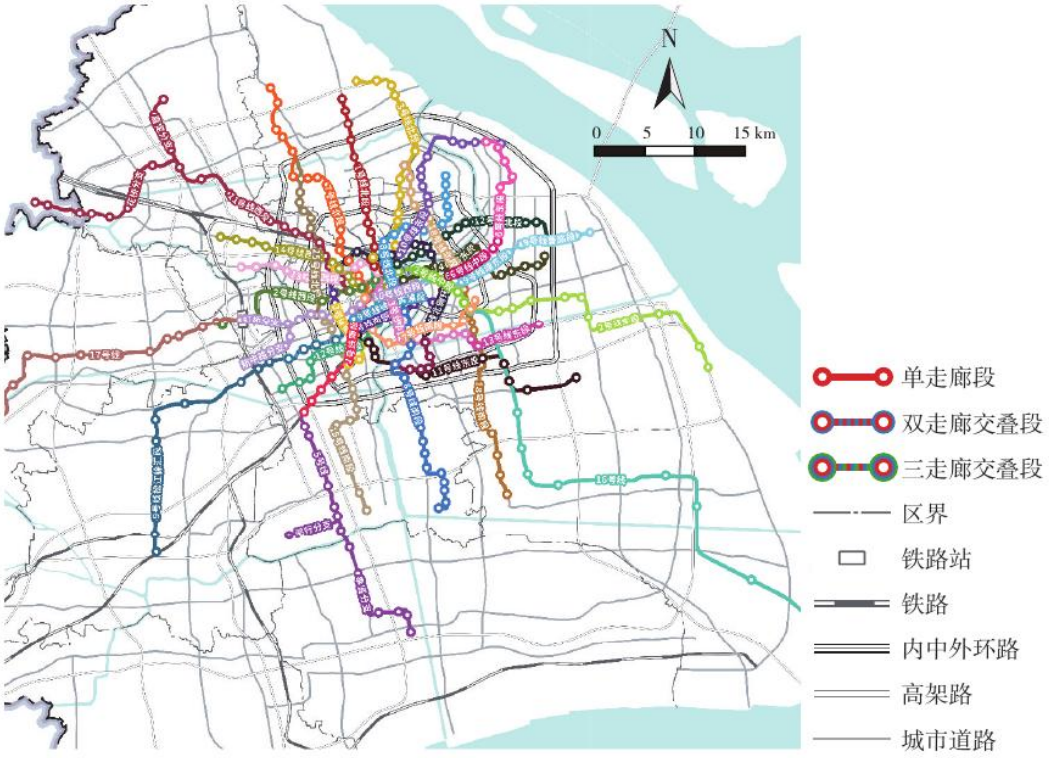
ممر TOD هو مقطع خطي ذو روابط داخلية قوية نسبيا، ويتحمل النشاط الرئيس للتنقل بالنقل العام على امتداد الخط. وبالاستفادة من مفهوم «مجال السفر» [33](travel shed)، يحدد هذا البحث النطاق الفعلي لممر TOD وفق التوزيع المكاني لرحلات الركاب في منطقة الخدمة. وتُستخدم بيانات OD بين محطات شبكة السكك الحضرية في شنغهاي مع طريقة «كشف المجتمعات» (community detection) لتحديد مجتمعات المحطات وثيقة الارتباط، لتكون أساسا لتقسيم ممرات TOD. وتعتمد البيانات على يوم عمل كامل في يوليو 2022. أولا توزع تدفقات محطات التحويل على محطات الخطوط المحددة (مثل محطة People's Square على الخط 1 ومحطة People's Square على الخط 2)، ثم ينشأ رسم بياني غير موجه وموزون $G=(V,E)$ استنادا إلى أحجام التدفق؛ حيث تمثل مجموعة الرؤوس V محطات المترو المرتبطة بخطوط محددة، وتمثل مجموعة الحواف E علاقات التدفق بين أزواج المحطات، ويكون وزن الحافة $e(v_1,v_2)$ هو إجمالي تدفق الركاب بين المحطتين المناظرتين للرأسين v_1 و$v_2$①.

اختيرت خوارزمية Louvain لكشف المجتمعات القائمة على المعيارية②. فهي تقسم عقد الشبكة إلى مجموعات تكون الروابط داخلها أكثر كثافة والروابط بينها أضعف، وبذلك تُستخرج «مجتمعات ممرات» TOD. وبما أن المجتمعات التي تحددها خوارزمية Louvain تميل إلى امتلاك أحجام داخلية متقاربة، فقد تُقسم الخطوط ذات الركاب الكثيفين إلى عدة مجتمعات بينما لا تُجزأ الخطوط منخفضة الركاب. لذلك اعتمدت عملية من خطوتين «تقسيم عام - تفصيل»: حُددت المعيارية الابتدائية عند 2، فقُسمت أولا خطوط الركاب المرتفع إلى «مجتمعات كبيرة» ذات أحجام داخلية متقاربة؛ ثم أُجري كشف مجتمعات مستقل داخل كل مجتمع كبير للحصول على مجتمعات أصغر. وعندما تكون محطات مجتمع ما غير متصلة ومقحمة داخل مجتمع آخر، تُعامل المحطات المقحمة بوصفها نطاقات تداخل بين هذه المجتمعات. وبهذا تُستخرج عدة ممرات TOD متصلة③.

2.2 نتائج تحديد ممرات TOD

وفق هذه الطريقة، حُدد في نطاق شنغهاي 41 ممر TOD، منها ثلاثة ممرات فرعية؛ وقُسمت معظم خطوط المترو إلى ممرين أو ثلاثة ممرات TOD (الشكل 1). ومن منظور الشكل، يمكن جمعها في ثلاثة أنماط: شعاعية، ومتعامدة، ومنحنية/ملتفة. ويبلغ متوسط طول الممرات الشعاعية الـ22 نحو 25.0 km ومتوسط عدد مقاطعها 14 مقطعا؛ أما الممرات المتعامدة الـ13 والممرات المنحنية الـ6 فتقع في الغالب داخل المدينة المركزية وحولها، ولكل منهما نحو 12 مقطعا في المتوسط، كما تتقارب أطوالها، إذ تبلغ 16.1 km و15.8 km على التوالي، أي نحو ثلثي طول الممرات الشعاعية، ويرتبط ذلك أساسا بقصر المسافات بين المحطات.

تربط الممرات الشعاعية أساسا المدينة المركزية بالمدن الجديدة والبلدات الضاحية ومطار بودونغ وغيرها من المناطق الطرفية. وتشكل الممرات المتعامدة الشبكة الحديدية الكثيفة المخترقة للمركز، ولا سيما منطقة بوشي. أما الممرات المنحنية فتقع غالبا على الخطوط الحلقية أو المقاطع التي يتغير اتجاهها، وتؤدي دورا رئيسا في الربط بين بوشي وبودونغ. وبسبب تعدد التحويلات وتشابك الخطوط في المركز، تتداخل الممرات المتعامدة والمنحنية كثيرا مع ممرات أخرى؛ فقد ينتمي المقطع أو المحطة نفسها إلى عدة ممرات TOD بدلا من علاقة واحد لواحد. ويؤكد ذلك ظواهر التداخل المحلي في بعض «مجتمعات الممرات» المشار إليها أعلاه. انظر الجدول 1.



الشكل 1 ممرات TOD في نطاق شنغهاي

الجدول 1 تحديد ممرات TOD وتصنيفها النمطي

走廊形态		构成
放射走廊	北向	1号线北段(富锦路—人民广场)、3号线北段(江杨北路—上海火车站)、7号线北段(美兰湖—静安寺)、10号线东段(基隆路—豫园)、15号线北段(顾村园—红宝石路)
	南向	5号线闵行分支(闵行开发区—莘庄)、5号线奉贤分支(奉贤新城—莘庄)、8号线南段(汇臻路—大世界)、15号线南段(紫竹高新区—姚虹路)、16号线(滴湖—龙阳路)、18号线南段(航头—杨高中路)
	西向	9号线松江徐汇段(松江南站—宜山路)、11号线西段花桥分支(花桥—江苏路)、11号线西段嘉定分支(嘉定北—江苏路)、17号线(东方绿舟—虹桥2号航楼)
	东向	2号线东段(浦东国际机场—上海科技馆)、6号线东段(港城路—北洋泾路)、9号线浦东段(民雷路—小南门)、9号线曹路段(曹路—台儿庄路)、11号线东(迪士尼—交通大学)、13号线东段(张江路—陈春路)
纵横走廊	横向	2号线西段(徐泾东—人民广场)、2号线中段(龙阳路—南京东路)、9号线徐汇黄浦段(星中路—陆家浜路)、10号线西段航中路分支(航中路—老西门)、10线西段虹桥分支(虹桥火车站—老西门)、12号线东段(金海路—天潼路)、13号线西段(金运路—自然博物馆)、14号线西段(封浜—大世界)、14号线东段(桥路—豫园)
	纵向	1号线南段(莘庄——大会址·黄陂南路)、8号线北段(市光路—人民广场)、12号线西段(七莘路—曲阜路)、18号线北段(长江南路—民生路)
弯绕走廊		3号线南段(上海南站—中潭路)、4号线北侧环(蓝村路—曹杨路)、4号线南侧环(金沙江路—塘桥)、6号线西段(云山路—东方体育中心)、6号线中段(巨路—世纪大道)、7号线南段(花木路—常熟路)、13号线中段(北蔡—南京西路)

3 تحليل توازن تدفقات الركاب في ممرات TOD

يتجلى التوازن المكاني لتدفقات الركاب في ممر TOD في بُعدين: التوازن بين المقاطع على امتداد الخط، والتوازن بين اتجاهي الحركة. وفيما يلي تُبنى مؤشرات التقييم المقابلة وتُستخدم في مقارنة الممرات.

3.1 تقييم توازن المقطع الطولي لتدفقات الركاب في ممرات TOD

استلهاما من مفهوم التفرطح في الإحصاء، يبني البحث مؤشرا لتقييم توازن تدفقات الركاب بين مقاطع ممر TOD. فإذا تساوت أحجام الركاب في جميع المقاطع، أي توزعت توزعا منتظما تماما، كان مستوى التوازن في أقصاه. وعلى أساس هذا المنحنى المرجعي، يقترح البحث «مؤشر توازن المقطع الطولي» (Profile Equilibrium Index, PEI)، وهو الفرق بين تفرطح منحنى التوزيع الفعلي للتدفقات وتفرطح منحنى التوزيع المنتظم.

تحسب قيمة PEI في اتجاه الصعود أو النزول④ كما يلي:

$$PEI = kurt(X) - 1.8 = E[((X - \mu)/\sigma)^4] - 1.8$$

حيث إن PEI هو مؤشر توازن المقطع الطولي للممر؛ و(kurt(X هو تفرطح منحنى التدفق الفعلي X عبر المقاطع؛ و1.8 هو تفرطح التوزيع المنتظم؛ و(E(x هو التوقع الرياضي للمتغير x؛ وμ هو متوسط التوزيع X؛ وσ هو انحرافه المعياري.

في الحساب العملي، تُستخدم نسبة حمل الركاب في كل مقطع باتجاه معين إلى إجمالي حمل جميع مقاطع الممر في ذلك الاتجاه لبناء منحنى توزيع التدفقات عبر المقاطع وحساب PEI. وعندما تكون القيمة 0 يكون التوزيع أكثر انتظاما؛ وعندما تكون سالبة تظهر حالة ارتفاع التدفق عند الطرفين وانخفاضه في الوسط؛ وعندما تكون موجبة، دلّ ارتفاعها على زيادة الاختلال وتمركز التدفق نحو أحد الجانبين. وتقترب القيمة 0.6 من نمو شبه خطي للتدفقات على امتداد المقاطع؛ أما إذا تجاوزت 1 فيظهر «ذيل» منخفض التدفق، وكلما زادت القيمة كان أثر «الذيل الطويل» أوضح.

يبين حساب PEI في ذروة الصباح [الشكل 2(أ)] أن الممرات الشعاعية هي الأضعف توازنا على مستوى المقاطع؛ إذ تبلغ متوسطات التفرطح في اتجاهي الصعود والنزول 0.67 و0.95 على التوالي، وهي أعلى بوضوح من الممرات المتعامدة (0.39 و0.48) والمنحنية (0.49 و0.28). ورغم أن معظم الممرات تسجل PEI أدنى في اتجاه الصعود، فإن مشكلة الذيل الطويل في هذا الاتجاه تبقى بارزة؛ وبما أن تدفق الصعود في الصباح أكبر، فإن تأثيره في تشغيل السكك الحضرية وخدماتها لا يمكن تجاهله. ومن بين الممرات الشعاعية التي تربط المدينة المركزية بالمدن الجديدة، وباستثناء فرع جيادينغ في القسم الغربي من الخط 11، تقترب قيم الصعود في فرع فنغشيان من الخط 5، ومقطع سونغجيانغ-شوهوي من الخط 9، وفرع هواكياو من القسم الغربي للخط 11، والخط 16، والخط 17، جميعها من 1.

وعلى النقيض، تتركز الممرات المتوازنة التي يقل PEI فيها عن 0.3 أساسا في المدينة المركزية، مثل المقاطع المركزية من الخطوط 2 و6 و9 و13 التي تعبر منطقة النشاط المركزي، وكذلك الخط الحلقي 4 ذي التحويلات العديدة. وتظهر بعض الممرات الداخلة إلى منطقة النشاط المركزي من أطراف المركز PEI في اتجاه الصعود بين نحو 0.3 و0.5، أي مستوى توازن متوسط. ويرتبط هذا التوزيع - استقرار التدفقات في المركز واتساع الفروق في الأطراف - بالبنية المكانية أحادية المركز على مستوى المدينة، وبترتيب متعدد المراكز داخل المدينة المركزية.

3.2 تقييم التوازن ثنائي الاتجاه لتدفقات الركاب في ممرات TOD

تحت تأثير التنقلات اليومية الجاذبة نحو المركز، ترتفع نسب تدفقات الصعود إلى النزول في مقاطع الممرات الشعاعية وقت ذروة الصباح، أي معاملات الاختلال ثنائي الاتجاه، وقد تبلغ نحو 4 في بعض المقاطع. وبما أن مجال هذا المعامل غير محدود، ولأن الفروق الموجبة والسالبة قد تتعادل عند تجميع المقاطع، فهو لا يعبر بالكامل عن اختلال الممر في الاتجاهين ككل. لذلك يبني البحث «مؤشر التوازن الاتجاهي» (Directional Equilibrium Index, DEI) اعتمادا على فرق التدفق بين الاتجاهين في كل مقطع. ويمثل هذا المؤشر الجذر التربيعي لمتوسط مربع نسبة فرق التدفق بين الاتجاهين إلى إجمالي التدفق ثنائي الاتجاه لكل مقطع؛ وبذلك يقيم درجة الاختلال الاتجاهي الكلية ويعكس أيضا طابع التنقل اليومي للممر. وتتراوح قيمته بين 0 و1: وكلما زاد اختلال توزيع التدفق بين الاتجاهين ارتفعت القيمة.

صيغة حساب DEI هي:

$$DEI = \sqrt{[(1/n)\ \Sigma_i\ ((u_i/f_i) - (d_i/f_i))^2]}$$

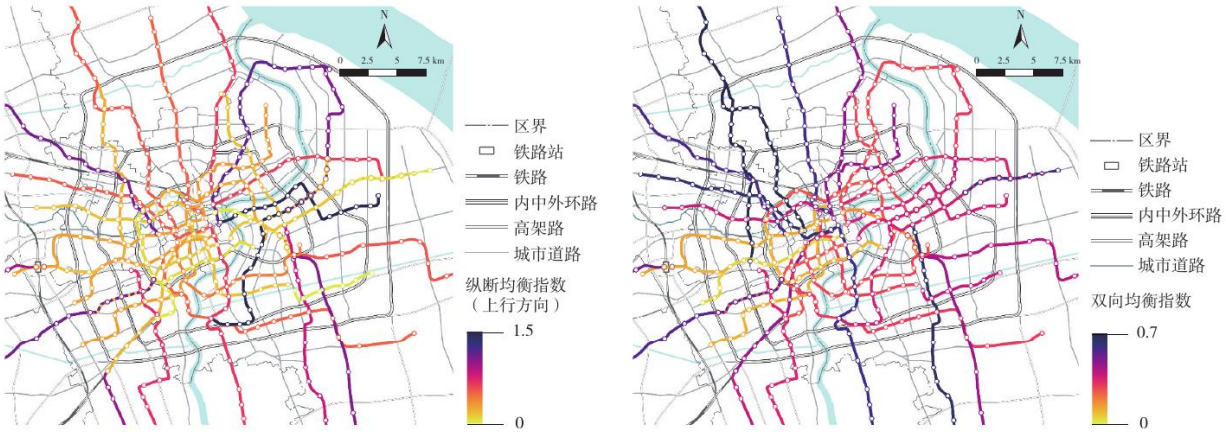
حيث إن DEI هو مؤشر التوازن الاتجاهي؛ وu_i وd_i يمثلان على التوالي حجم الركاب في اتجاهي الصعود والنزول في المقطع i؛ وf_i هو إجمالي تدفق المقطع i، ويساوي u_i+d_i؛ وn هو العدد الكلي للمقاطع.

تتركز قيم DEI المحسوبة في ذروة الصباح بين 0.1 و0.7 غالبا [الشكل 2(ب)]. وعندما يتجاوز المؤشر 0.7 يكون الاختلال شديدا وتبلغ نسبة التدفق بين الاتجاهين نحو 6:1؛ وعندما يساوي 0.5 يكون الاختلال واضحا، بنسبة تقارب 3:1؛ وعندما يساوي 0.2 يكون التوازن جيدا نسبيا، بنسبة تقارب 3:2.

بوجه عام، تسجل الممرات الشعاعية أقوى اختلالات ثنائية الاتجاه [الشكل 2(ب)]. فبعض الممرات التي تصطف على امتدادها مناطق سكنية متصلة، مثل الأجزاء الشمالية من الخطين 7 و15 والجزء الجنوبي من الخط 18، تظهر تدفقات تنقل يومي واضحة منذ المقطع الطرفي الأول. كما تصل عدة ممرات تربط المدينة المركزية بالمدن الجديدة إلى مستوى اختلال يتجاوز 0.55، ومنها الجزء الغربي من الخط 9 (المدينة المركزية - مدينة سونغجيانغ الجديدة)، والجزء الغربي من الخط 11 (المدينة المركزية - مدينة جيادينغ الجديدة)، والخط 17 (المدينة المركزية - مدينة تشينغبو الجديدة). غير أن قيمها ليست الأعلى بسبب وجود مقطع ذي «ذيل» تكون فيه التدفقات في الاتجاهين منخفضة.

أما الممرات الواقعة في المدينة المركزية فتظهر تدفقات ثنائية الاتجاه أكثر توازنا، ويكون مستوى التوازن أعلى في بوشي. وتشمل الممرات النموذجية المتوازنة القسمين الغربي والوسطي من الخط 2، ومقطع شوهوي-هوانغبو من الخط 9، والقسم الغربي من الخط 10، والقسم الجنوبي من الخط 12، ونصف الحلقة الجنوبي الغربي من الخط 4، بما يشكل بنية «ثلاثة محاور أفقية، محور

رأسي واحد، ونصف حلقة». وتقترب قيم DEI فيها من 0.2؛ ومكانيا تعبر هذه الممرات منطقة النشاط المركزي وتصل بين عدة مراكز عامة.



(a) 上行方向纵断均衡指数　　(b) 双向均衡指数

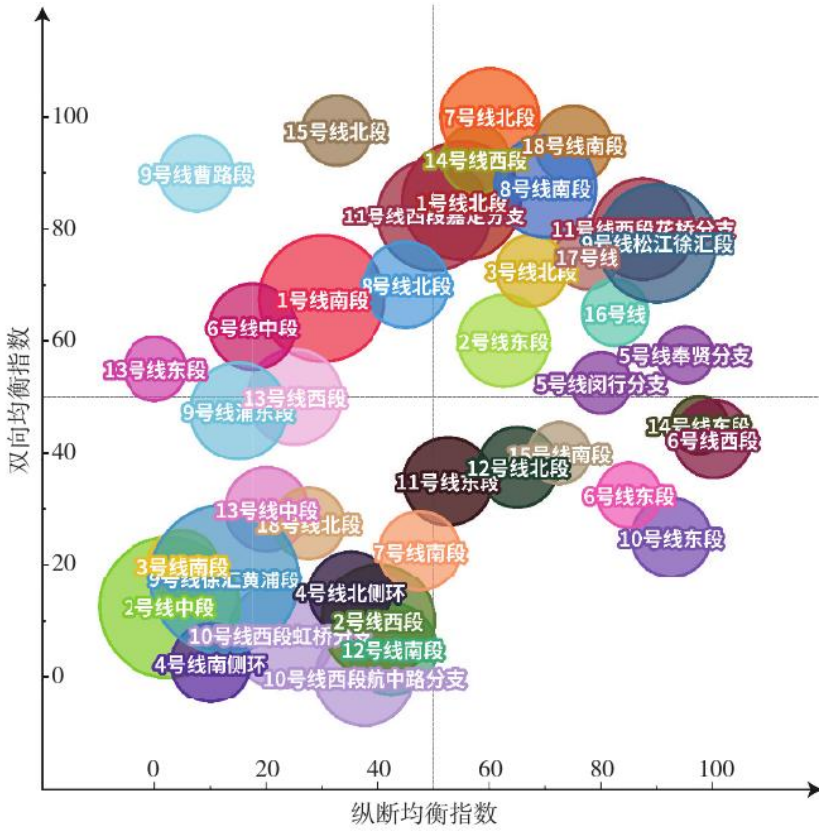
الشكل 2 ممرات TOD في شنغهاي بحسب مستوى توازن تدفقات الركاب

3.3 تحليل ثنائي الأبعاد لتوازن التدفقات في ممرات TOD

من أجل تحليل التوازن على امتداد المقاطع وبين الاتجاهين معا، تُحسب الرتب المئوية لكل من PEI وDEI لكل ممر بين جميع الممرات، ثم ترسم خريطة تصنيف ثنائية الأبعاد، حيث يمثل كل ممر بدائرة مركزها النقطة المقابلة للرتبتين المئويتين، ويدل نصف قطرها على متوسط حمل المقطع في ذروة الصباح. انظر الشكل 3.

باتخاذ الرتبة المئوية المتوسطة (50%) لكل مؤشر عتبة للتصنيف، تقسم ممرات TOD إلى أربع فئات. وباتجاه عقارب الساعة ابتداء من الربع العلوي الأيمن، تظهر: ممرات «الاختلال المزدوج» (اختلال اتجاهي مع ذيل طويل)، وممرات «توازن مقطعي فقط» (اختلال اتجاهي بلا ذيل طويل)، وممرات «توازن مزدوج» (توازن اتجاهي بلا ذيل طويل)، وممرات «توازن اتجاهي فقط» (توازن اتجاهي مع ذيل طويل). ويبلغ عدد ممرات التوازن المزدوج 13 ممرًا، وممرات الاختلال المزدوج 14 ممرًا؛ وتمثل الفئتان معا 66% من الممرات، بما يدل على وجود ارتباط معين بين توازن المقطع والتوازن الاتجاهي.

تظهر هذه الفئات الأربع توزيعات مكانية متباينة بوضوح. تقع ممرات التوازن المزدوج غالبا غرب نهر هوانغبو وجنوب جدول سوتشو، وهو نطاق يتطابق بدرجة عالية مع منطقة النشاط المركزي في شنغهاي؛ وتحدها في الغالب مناطق كثيفة مختلطة الوظائف. وتقع معظم ممرات التوازن الاتجاهي فقط شرق هوانغبو؛ ويعكس اختلالها المقطعي الانخفاض السريع في كثافة التطوير كلما ابتعدنا عن منطقة النشاط المركزي على ضفة بودونغ. أما ممرات الاختلال المزدوج فهي غالبا ممرات شعاعية تمتد من منطقة النشاط المركزي نحو الضواحي البعيدة؛ وتقع نهاياتها عادة في مدن شنغهاي الجديدة (سونغجيانغ، فنغشيان وغيرها) أو في مناطق ذات طبيعة مماثلة (بوجيانغ، ووسونغ وغيرها). وتمتد بين هذه النهايات والمدينة المركزية أحياء سكنية متصلة؛ فالمقاطع القريبة من النهاية تحمل غالبا تدفقات قليلة وذيلًا طويلا واضحا، بينما ترتفع التدفقات بسرعة عند محطات تخدم أحياء سكنية كبيرة، مع اتجاهية تنقل يومي قوية. أما الممرات ذات التوازن المقطعي فقط فهي ممرات شعاعية تنطلق من منطقة النشاط المركزي إلى الخارج لمسافة أقصر نسبيا؛ وبغياب الذيل المنخفض التدفق تسجل قيما جيدة لـ PEI، لكنها تحتفظ بظاهرة تنقل يومي واضحة، مثل المقاطع الشمالية من الخطين 8 و15.



الشكل 3 الرتب المئوية لمؤشري توازن المقطع والتوازن الاتجاهي في الممرات

4 تحليل النماذج المكانية لممرات TOD من منظور توازن التدفقات

4.1 توزيع أنماط المحطات في ممرات TOD

يمكن قراءة نمط استعمالات الأرض في ممر TOD من وظائف مناطق المحطات التي تصطف على امتداده. وبناء على تشابه منحنيات التدفق الساعية للمحطات في أيام العمل والعطلات، تصنف المحطات إلى ستة أنواع وظيفية: مركز نشاط متكامل، مركز يغلب عليه القطاع الثالث، اختلاط يغلب عليه المكاتب، اختلاط متنوع، غلبة سكنية، واعتماد سكني. وبهذا الترتيب تتناقص حصة وظائف المكاتب وتزداد حصة الوظائف السكنية. ومكانيا، تتركز محطات مراكز النشاط المتكاملة والمراكز ذات الغلبة الخدمية في منطقة النشاط المركزي؛ وتقع محطات الاختلاط المكتبي والاختلاط المتنوع غالبا في المدينة المركزية؛ أما محطات الغلبة السكنية أو الاعتماد السكني فتتوزع أساسا خارج المدينة المركزية على امتداد الممرات الشعاعية.

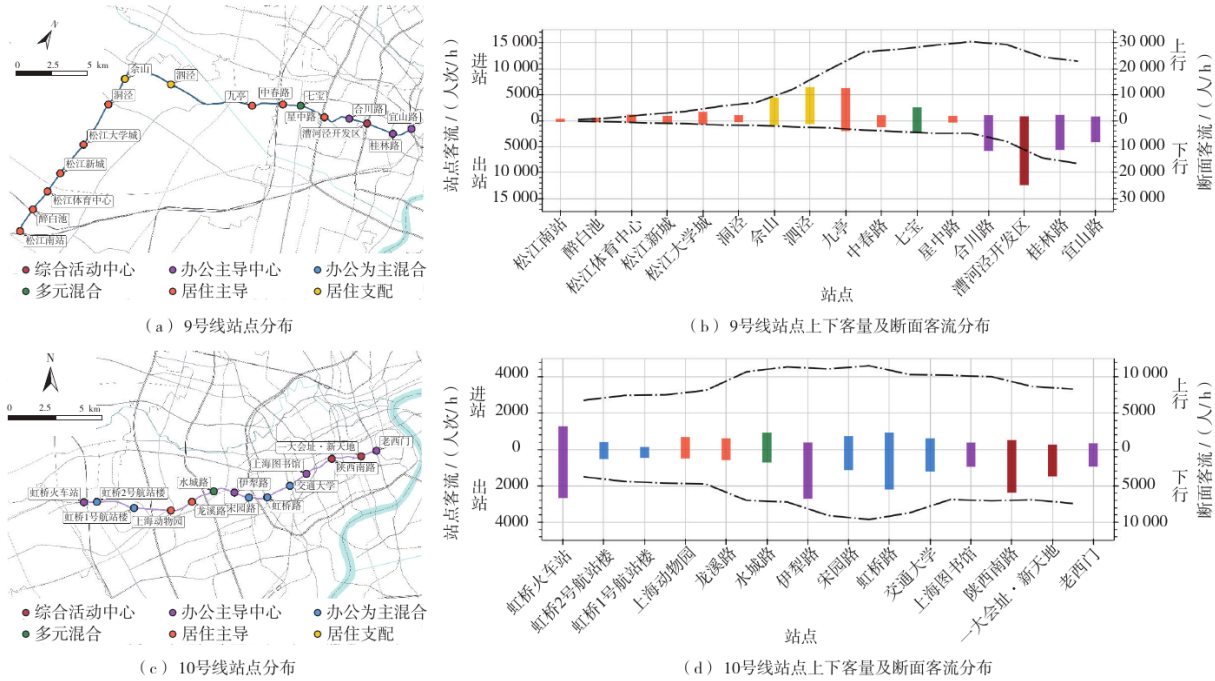
للمقارنة، تكون ممرات الاختلال المزدوج غالبا شعاعية؛ فهي تربط الوظائف السكنية في المدن الجديدة والضواحي البعيدة بوظائف المكاتب والتجارة والخدمات في المدينة المركزية، فتكوّن ممرات تنقل يومي طويلة المسافة تتسم بالفصل بين السكن والعمل. أما ممرات التوازن المزدوج فهي غالبا ممرات متعامدة تصل منطقة النشاط المركزي ومقاطع ملتفة من الخطوط الحلقية؛ تربط بين عدة مراكز، وتتحمل أحجام ركاب كبيرة، وتعمل كممرات وجهة. وتتميز الفئتان الأخريان أيضا بخصائص استعمالات أرض مختلفة: فالممرات المتوازنة اتجاهيا والمختلة مقطعيا تنتهي غالبا بمحطات مختلطة ذات وظائف غير سكنية، ما يجذب تدفقات عكسية بفضل قدر من توازن العمل والسكن، إلا أن انخفاض كثافة التطوير في الطرف يخلق فروقا كبيرة بين التدفقات الطرفية والمركزية. أما الممرات المتوازنة مقطعيا والمختلة اتجاهيا فتنتهي بمحطات ذات اعتماد سكني قريبة من المدينة المركزية؛ ويفضي وفرة السكن إلى تشبع التدفقات المقطعية عموما، بينما يزيد نقص الوظائف الأخرى من الفصل بين السكن والعمل.

4.2 تحليل ممرات نموذجية

يعد مقطع سونغجيانغ-شوهوي من الخط 9 ممرًا ذا اختلال مزدوج وحجم ركاب كبير. ويُظهر فحص أنواع المحطات وتوزيع تدفقات المقاطع [الشكل 4(أ)] أن جزء سونغجيانغ يتكون من سلسلة متصلة من المحطات السكنية؛ ومع محطتي شيشان وسيجينغ ذواتي الاعتماد السكني ينفصل تماما عن سلسلة محطات المكاتب حول مركز نشاط كاوخهجينغ، مما يولد اختلالا قويا في التدفقات. وتبين المقارنة بين الاتجاهين [الشكل 4(ب)] أن تدفقات المقطع في اتجاه الصعود ترتفع فجأة بدءا من شيشان ولا تبدأ بالانخفاض إلا قرب كاوخهجينغ؛ أما في اتجاه النزول فتهبط التدفقات إلى مستوى شديد الانخفاض بعد كاوخهجينغ. لذلك، بين محطة

سونغجيانغ الجنوبية وXingzhong Road، تكون أحمال الصعود أعلى بكثير من النزول، فينشأ اختلال اتجاهي. وفي اتجاه الصعود تكون التدفقات الكلية في مدينة سونغجيانغ الجديدة منخفضة، بينما تتجاوز أعداد الصعود الساعي في شيشان ودونغجينغ وجيوتينغ 5000 راكب، مما يخلق ذيلا طويلا واضحا في مقطع مدينة سونغجيانغ الجديدة. وفي اتجاه النزول، يؤدي تركز النزول في مركز العمل كاوخهجينغ إلى خفض تدفقات المقاطع بعد Hechuan Road إلى مستوى شديد الانخفاض، مولدا ذيلا طويلا أيضا.

على العكس من ذلك، يعد فرع هونغتشياو في القسم الغربي من الخط 10 ممرًا نموذجيا ذا توازن مزدوج. فهو يضم عددا قليلا من المحطات السكنية، وتغلب عليه محطات المركز المتكامل، والمركز ذي الغلبة الخدمية، والاختلاط المتنوع [الشكل 4(ج)]. وفي اتجاه الصعود، باستثناء تركز النزول نسبيا في محطتي South Shaanxi Road وSongyuan Road، تبقى أحجام الصعود والنزول متقاربة في معظم المحطات، ما يمنح المقطع درجة عالية من التوازن. إضافة إلى ذلك، تقع نهاية الممر الطرفية في عقدة هونغتشياو؛ وفيها يكون الصعود كبيرا عند نقطة البداية في اتجاه الصعود، كما يكثر الركاب المتجهون إلى المحطة النهائية في اتجاه النزول. وتعزز هذه البنية التوازن ثنائي الاتجاه بقوة؛ ولا يظهر في أي من الاتجاهين ذيل طويل منخفض التدفق [الشكل 4(د)].



(a) 9号线站点分布　(b) 9号线站点上下客量及断面客流分布

(c) 10号线站点分布　(d) 10号线站点上下客量及断面客流分布

الشكل 4 أعداد الصعود والنزول في المحطات وتوزيع تدفقات المقاطع على امتداد مقطع سونغجيانغ-شوهوي من الخط 9 وفرع هونغتشياو من القسم الغربي للخط 10

5 الخلاصات والدلالات

5.1 النتائج الرئيسة

إجمالا، تسد هذه الدراسة فجوة معرفية في فهم ممرات TOD من منظور توازن تدفقات الركاب. وهي تساعد مستقبلا على بناء سيطرة وتحسين مكانيين متكاملين على مستوى الممر، وعلى رفع أداء تطوير TOD الممر عموما.

أولا، تتيح طريقة تحديد ممرات TOD القائمة على علاقات التدفق تعيين المقاطع التي تتكون منها بوضوح، وتوفر أساسا لتعريف الوحدات المكانية للتخطيط على مستوى الممر. وباستخدام بيانات OD للمحطات في شبكة السكك الحضرية بشنغهاي، أمكن عبر خوارزمية كشف المجتمعات استخراج ممرات TOD. يبلغ طول الممرات الشعاعية 25-30 km ومتوسط المسافة بين محطاتها 1.83 km؛ بينما يبلغ طول ممرات المركز ومحيطه 16-20 km ومتوسط المسافة بين محطاتها 1.30 km. وفي الحالتين تقترب نسبتا الطول والمسافة بين المحطات من 3:2، بما يعكس اختلاف مقاييس النشاط بين قطاعات الممر. كما أن عدد المحطات داخل ممرات TOD قريب من عدد المحطات المقطوعة فعليا في الرحلة المتوسطة (نحو 12)، ما يدل على ملاءمة طريقة كشف المجتمعات لتحديد ممرات TOD؛ وتنسجم هذه النطاقات مع الخصائص المكانية للتنقل بالنقل العام، وتعزز قابلية مقارنة دراسات الممرات.

ثانيا، يتيح بناء مؤشرات لتوازن التدفقات في بعدي المقطع والاتجاه فحص أداء التشغيل والخدمة في ممرات TOD بصورة شاملة وكشف انتظاماتها المكانية. ويظهر حساب PEI وDEI على حدة للممرات المختلفة ثم تحليلهما معا فروقا واضحة في توازن

التدفقات؛ فقيم المؤشرين أعلى بوضوح في الممرات الشعاعية من النمطين الآخرين (الجدول 2)، ما يعني توازنا أضعف. وفي التصنيف الثنائي لممرات TOD، تكون ممرات «الاختلال المزدوج» في معظمها ممرات شعاعية تربط المدينة المركزية بالأطراف، بينما تكون الممرات النموذجية ذات «التوازن المزدوج» غالبا متعامدة ومنحنية.

ثالثا، ترتبط خصائص توازن التدفقات في ممرات TOD ارتباطا وثيقا بتنظيم استعمالات الأرض على امتداد الخطوط: فممرات الوجهة تظهر تدفقات أكثر توازنا نسبيا، بينما تبرز في ممرات التنقل اليومي ظاهرتا التنقل الأحادي والذيل الطويل. ومكانيا، تتطابق ممرات الوجهة إلى حد كبير مع منطقة النشاط المركزي؛ وتتنوع أنماط المحطات فيها، مع سمات تعدد المراكز واختلاط الوظائف، كما توجد في طرفي الممر أقطاب جذب رئيسة تضمن «التوازن المزدوج» في المقطع والاتجاه. أما ممرات التنقل اليومية ذات البنية الشعاعية المركزية فتتميز بسلاسل من المناطق السكنية الطرفية وبغلبة الوظائف الخدمية في مركز التشغيل، أي بفصل بين السكن والعمل؛ ويؤدي الاختلال الناتج في توزيع التدفقات إلى خفض كفاءة التشغيل وجودة خدمة النقل العام بدرجة كبيرة.

الجدول 2 مقارنة مستويات توازن المقطع والتوازن الاتجاهي لتدفقات الركاب في ممرات TOD

走廊类型	总数 / 个	上行方向纵断均衡指数		下行方向纵断均衡指数		双向均衡指数		走廊长度 / km		断面数 / 个		
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	合计
放射	22	0.67	0.42	0.95	0.90	0.52	0.12	24.99	11.65	13.64	3.87	300
横纵	13	0.39	0.45	0.48	0.45	0.35	0.15	16.14	3.33	12.23	2.59	159
弯绕	6	0.49	0.73	0.28	0.36	0.32	0.08	15.84	1.81	12.50	1.87	75

5.2 دلالات تخطيطية

لطريقة تحديد ممرات TOD وتحليل نماذجها المكانية أهمية واضحة في تعميق نظرية TOD متعددة المقاييس وفي توجيه تخطيط ممرات TOD توجيها علميا. فالطريقة الجديدة المقترحة، التي تحدد ممرات TOD انطلاقا من الروابط القوية بين المحطات وتقيّم توازن تدفقات الركاب، تقدم إطارا تقنيا متكاملا لتخطيط TOD على مستوى الممر ولتنسيق TOD بين المحطات.

أولا، يمثل ممر TOD حاملا أساسيا لدمج تشغيل النقل العام مع تطوير المحطات وتحقيق أهداف التنمية الموجهة بالنقل العام. فرفع كفاءة التشغيل ومستوى الخدمة شرط مهم لزيادة جاذبية النقل العام. ولا يمكن تعظيم كفاءة نقل الركاب إلا عبر تخطيط متكامل لاستعمالات الأرض والنقل على المستوى الإقليمي؛ وهذا يوافق التصور الإقليمي الأصلي لـ TOD، أي نمط تنمية إقليمي موجه بالنقل العام وتدعمه معا تطويرات TOD للمحطات المترابطة بالشبكة. أما TOD على مستوى المحطة فيصعب أن يحقق أهداف تحسين تشغيل الخطوط؛ فهو لا يلتفت كثيرا إلى الآثار المتباينة لتطوير TOD على التشغيل عندما تكون التدفقات مشبعة أو ناقصة، ويغفل غالبا التعارض بين أحمال المقطع العالية وسعة النقل العام. إن دمج TOD المحطات المنعزلة سابقا على امتداد الممر يمكن أن يحسن توازن توزيع التدفقات المقطعية، ويربط التطوير العقاري بكفاءة أكبر بالهدف الاستراتيجي المتمثل في زيادة الركاب.

ثانيا، ينبغي صياغة مبادئ تخطيط واستراتيجيات ضبط تتخذ ممر TOD وحدة لها من أجل تحسين نموذجه المكاني. وبحسب التوزيع المكاني للرحلات بالنقل العام، يمكن التمييز بين ممرات المدينة المركزية-الأطراف وممرات داخل المدينة المركزية. ومقارنة بـ TOD المحطة، يجب أن تؤكد مبادئ TOD الممر متطلبات التصميم والتخطيط على المستوى الإقليمي. وبناء على خبرة ممرات TOD في شنغهاي، يقترح هذا البحث «مبادئ 5D» لممر TOD من منظور توازن التدفقات: التنوع (diversity)، وهو يتجاوز مجرد اختلاط الوظائف في مناطق المحطات، ويدعو إلى تناوب محطات ذات وظائف مختلفة على امتداد الممر، ولا سيما إدراج محطات ذات مركزية؛ إتاحة الوصول إلى الوجهات (destination)، أي توزيع مراكز نشاط ذات غلبة تجارية أو خدمية أو ترفيهية وغيرها على امتداد الممر لتعزيز جاذبية عدة مناطق محطات وتحقيق توازن بين الدخول والخروج؛ إزالة الاستقطاب (depolarization)، أي تعزيز وظائف المدن الجديدة والعقد المهمة الأخرى، ورفع مستوى المراكز العامة الطرفية، والحد من الاستقطاب أحادي الاتجاه في الممرات الشعاعية؛ القرب من أماكن العمل (distance to workplace)، أي توزيع وظائف العمل والسكن عند طرفي الممر لتعزيز توازن السكن والعمل، وتجنب السلاسل الطويلة من المحطات السكنية الصرفة في الأطراف؛ ورافعة الكثافة (density leverage)، أي مواءمة شدة التطوير مع أحجام التدفق ودرجة توازنه في المقاطع المختلفة، بزيادة مناسبة لشدة الوظائف غير السكنية في الأطراف، مع ضبط معقول للتركيب الوظيفي وشدة التطوير في المناطق الواقعة على المقاطع ذات الأحمال العالية، كي تتوافق مع قدرة النقل العام.

ثالثا، يجب تعزيز محاكاة سيناريوهات متعددة لترتيبات وسياسات ممرات TOD بهدف تحسين توازن تدفقات الركاب. فهذا التوازن لا يسهم في رفع كفاءة تشغيل النقل العام فحسب، بل يساعد أيضا، عبر تقليل الازدحام داخل المركبات وزيادة راحة السفر، على تحقيق الهدف الجوهري لـ TOD: زيادة استخدام النقل العام. وينتج توازن التدفقات عن التفاعل المتكامل بين استعمالات الأرض والنقل على امتداد الممر وعلى المستوى الإقليمي، ويتأثر بنماذج مكانية وسياسات مختلفة، وقد يتغير بين مقاطع الخط نفسه.

ولتعزيز الأساس العلمي لقرارات تخطيط ممرات TOD، تبرز الحاجة إلى تعميق محاكاة توازن التدفقات في سيناريوهات متعددة، ثم مقارنة النماذج المكانية واستراتيجيات «تنسيق TOD المحطات» واختيار الأنسب، بما يوفر دعما كميا لتقوية الوظائف المتجمعة لممرات TOD وإبراز آثارها المكانية.

الشكر والتقدير

يشكر المؤلفون المهندس الأول ZHANG Hanshuang على توجيهاته القيّمة أثناء إعداد هذا المقال، كما يشكرون MIAO Sijing وLU Ming على عملهما الأساسي المهم في جمع الأدبيات.

الهوامش

① في رسم بياني G يضم V عقدا وE حافة، إذا اقترب عدد الحواف E من V^2 عُدّ G رسما كثيفا (dense graph)؛ وبالعكس، إذا اقترب E من V عُدّ رسما متناثرا (sparse graph). وبما أن تدفقات الركاب قائمة تقريبا بين كل زوج من محطات السكك الحضرية، فإن كل زوج من النقاط يكاد يرتبط بحافة؛ لذلك يكون الرسم المبني على علاقات التدفق بين المحطات رسما كثيفا. ولأن المعيارية تُحسب على أساس أوزان الحواف، أي أحجام الركاب، فإن المجتمعات التي تولدها الخوارزمية في رسم كثيف موزون تميل إلى امتلاك مجاميع أوزان داخلية متقاربة، أي إجمالي أحجام داخلية متقاربة.

② طريقة Louvain لكشف المجتمعات هي خوارزمية إرشادية تقوم على تعظيم المعيارية. وكلما ارتفعت المعيارية زاد عدد الروابط داخل مجتمعات الشبكة وقلت الروابط بينها.

③ تُظهر نتائج خوارزمية كشف المجتمعات أن بعض المجتمعات غير المتصلة لا يمكن تعريفها مباشرة كممرات TOD؛ لذلك يلزم إجراء معالجة إضافية للحصول على ممرات نقل متصلة. فإذا كانت محطة s تنتمي إلى المجتمع a، ولم يكن خط السكك المقابل حلقيًا، ووجدت على جانبيها على امتداد الخط محطتان s′ وs″ تنتميان إلى المجتمع b، فإن المحطة s تنتمي في الوقت نفسه إلى ممر TOD A وممر TOD B. وتكون الممرات الناتجة عن هذه القاعدة متصلة، غير أن المحطة الواحدة قد تنتمي إلى عدة ممرات TOD؛ فمثلا، تنتمي محطة Beiyangjing Road على الخط 6 في الوقت نفسه إلى المقاطع الشرقي والوسطي والغربي من الخط 6.

④ من طرفي الممر، يُعرّف الطرف الأبعد عن مركز شنغهاي بأنه الأصل s_0، والطرف الأقرب بأنه الوجهة s_1. ويمثل مركز شنغهاي أصل نظام إحداثيات Shanghai 2000، وجسمه المادي هو السارية المركزية على سطح Park Hotel في Nanjing West Road شمال People's Park. ويُعرّف الانتقال من s_0 إلى s_1 (من الطرف البعيد نحو المركز) بأنه اتجاه الصعود، والعكس بأنه اتجاه النزول. وتضم بعض خطوط مترو شنغهاي، مثل الخط 11، فروعا تقع في مناطق بعيدة عن المركز؛ لذلك يعرّف الممر عندئذ بأنه يمتلك أصلين s_{01} وs_{02}، وتعد المساران اللذان يربطان s_{01} وs_{02} بالوجهة s_1 فرعين للممر نفسه. وتُحسب مؤشرات توازن التدفقات على نحو منفصل لمختلف فروع الممر الواحد.

المراجع

[1] CALTHORPE P. The next American metropolis: ecology, community, and the American dream [M]. New York: Princeton Architectural Press, 1993.

[2] City of Denver. Denver TOD typology and strategic plan [EB/OL]. (2006-01-01) [2024-09-20]. http://ctod.org/pdfs/2006TODStrategicPlanDenver.pdf.

[3] City of Austin. History of transit oriented development in Austin [EB/OL]. (2023-08-30) [2024-09-20]. https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Planning/Urban_Design/History_of_TOD2.pdf.

[4] Delhi TOD Policy & Regulations Interpretation. Transit oriented development manual [EB/OL]. (2014-10-14) [2024-09-20]. https://www.wricitiesindia.org/sites/default/files/Delhi-TOD-Policy-Manual.pdf.

[5] Central Maryland Transportation Alliance. Central Maryland TOD strategy: a regional action plan for transit-centered communities [EB/OL]. (2009-07) [2024-09-20]. http://ctod.org/pdfs/2009CentralMarylandTODStrategy.pdf.

[6] ARRINGTON G B, THORNE-LYMAN A, et al. Transit-oriented development guidelines [EB/OL]. (2017-05-01) [2024-09-20]. https://www.bart.gov/sites/default/files/docs/BART_TOD-GuidelinesFinal2017_compressed_0.pdf.

[7] AHMAD S, RASHID M F, SURATMAN R. Readiness of transit oriented development (TOD) concept implementation in Perak's suburban areas [J]. Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners, 2022, 20(1): 155-165.

[8] ITDP (Institute for Transportation and Development Policy). TOD standard 3.0 [EB/OL]. (2017) [2024-09-20]. https://www.itdp.org/publication/tod-standard/.

[9] OLLIVIER G P, GHATE A, BANKIM K, et al. Transit-oriented development implementation resources and tools [EB/OL]. 2nd ed. Washington, D.C.: World Bank Group, [2021-10-25] [2024-09-20]. http://documents.worldbank.org/curated/en/472011635146925534/Transit-Oriented-Development-Implementation-Resources-and-Tools-Second-Edition.

[10] BOARNET M G, COMPIN N S. Le TOD à San Diego : processus progressif de mise en œuvre d'un concept de planification [J]. Urban Planning Overseas, 2000(4): 38-41. (en chinois)

[11] CHEN Yanping. Une voie fondamentale pour résoudre les problèmes de transport urbain : communautés de transport public et formes d'usage du sol urbain orientées vers le transport public [J]. City Planning Review, 2000(3): 10-14. (en chinois)

[12] Ministère des Transports de la République populaire de Chine. Avis relatif au lancement du programme national de démonstration des villes de transport public [EB/OL]. (2011-11-09) [2024-09-20]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623_3315626.html. (en chinois)

[13] Commission nationale du développement et de la réforme. La NDRC organise un séminaire sur l'innovation des mécanismes d'investissement et de financement du rail urbain [EB/OL]. (2016-09-09) [2024-09-20]. https://www.gov.cn/xinwen/2016-09/09/content_5106798.htm. (en chinois)

[14] PAN Haixiao, ZHONG Baohua. L'effet de la construction du transport ferroviaire sur les prix immobiliers : le cas de Shanghai [J]. Urban Planning Forum, 2008(2): 62-69. (en chinois)

[15] ZHENG Siqi, HU Xiaoke, ZHANG Bo, et al. Récupération de la plus-value du rail urbain : de la théorie à la réalité [J]. Urban Development Studies, 2014, 21(2): 35-41. (en chinois)

[16] LIN Xiongbin, YANG Jiawen, DING Chuan. Vers une mobilité et un logement plus abordables : analyse de planification du développement orienté vers les transports et de ses effets d'équité [J]. City Planning Review, 2018, 42(9): 122-130. (en chinois)

[17] LIU Quan. Lecture de la forme structurelle de la planification TOD à l'échelle urbaine [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2019(6): 72-79. (en chinois)

[18] LI Wenjing, YANG Jiawen. Stratégies et pratiques d'application du modèle de développement orienté vers les transports (TOD) à Shenzhen [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 25(12): 5-12. (en chinois)

[19] DONG Wei, LIN Xiongbin. Politiques et pratiques localisées du TOD dans les villes chinoises : perspective des instruments de politique publique [J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 49-57. (en chinois)

[20] HUANG Jianzhong, CAO Zhejing, WAN Ge. Développement de la théorie TOD et perspectives de recherche dans le contexte des nouvelles technologies [J]. Urban Planning Forum, 2023(2): 40-46. (en chinois)

[21] DAI Xiaohui. Le Nouvel Urbanisme comme modèle de développement régional : réflexions à partir de The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream de Peter Calthorpe [J]. Urban Planning Forum, 2000(5): 77-78. (en chinois)

[22] HICKMAN R, HALL P. Moving the city east: explorations into contextual public transport-orientated development [J]. Planning Practice and Research, 2008, 23(3): 323-339.

[23] BERNICK M, CERVERO R. Transit villages in the 21st century [M]. New York: McGraw-Hill, 1996.

[24] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment: a synthesis [J]. Transportation Research Record, 2001(1780): 87-114.

[25] HESS D B, ALMEIDA T M. Impact of proximity to light rail rapid transit on station-area property values in Buffalo, New York [J]. Urban Studies, 2007, 44(5-6): 1041-1068.

[26] CERVERO R, MURAKAMI J. Rail and property development in Hong Kong: experiences and extensions [J]. Urban Studies, 2009, 46(10): 2019-2043.

[27] RENNE J L, TOLFORD T, HAMIDI S, et al. The cost and affordability paradox of transit-oriented development: a comparison of housing and transportation costs across transit-oriented development, hybrid and transit-adjacent development station typologies [J]. Housing Policy Debate, 2016, 26(4-5): 819-834.

[28] LIU L, ZHANG M, XU T. A conceptual framework and implementation tool for land use planning for corridor transit oriented development [J]. Cities, 2020, 107(2): 102939.

[29] Reconnecting America. Station area planning: how to make great transit-oriented places [EB/OL]. (2003-04-08) [2024-09-20]. http://reconnectingamerica.org/assets/Uploads/tod202.pdf.

[30] Center for Transit-Oriented Development. Transit corridors and TOD [EB/OL]. (2010-12-20) [2024-09-20]. https://ctod.org/portal/node/2161.

[31] Ministère du Logement et du Développement urbain-rural. Guidelines for Planning and Design of Areas along Urban Rail Transit [EB/OL]. (2015-12-10) [2024-09-20]. https://www.planning.org.cn/news/uploads/2015/12/566a2efee7aad_1449799422.pdf. (en chinois)

[32] IBRAEVA A, CORREIA G H A, SILVA C, et al. Transit-oriented development: a review of research achievements and challenges [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, 132: 110-130.

[33] ZHANG M. Chapter eleven: corridor transit oriented development: concept, practice, and research needs [M] // CAO X J, DING C, YANG J. Advances in transport policy and planning. Academic Press, 2022: 277-299.

[34] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment [J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.

[35] BERTOLINI L. Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands [J]. Planning Practice & Research, 1999, 14(2): 199-210.

[36] KAMRUZZAMAN M, BAKER D, WASHINGTON S, et al. Advance transit oriented development typology: case study in Brisbane, Australia [J]. Journal of Transport Geography, 2014, 34(2): 54-70.

[37] HIGGINS C D, KANAROGLOU P S. A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region [J]. Journal of Transport Geography, 2016, 52: 61-72.

[38] CHORUS P, BERTOLINI L. Developing transit-oriented corridors: insights from Tokyo [J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2016, 10(1-5): 141217133925009.

[39] FERRELL M C. Measuring the impact of suburban transit-oriented developments on single-family home values [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2013.

[40] PAPAGIANNAKIS A, VITOPOULOU A, YIANNAKOU A. Transit-oriented development in the southern European city of Thessaloniki introducing urban railway: typology and implementation issues [J]. European Planning Studies, 2020, 29(1): 117-141.

[41] WU Jiaorong, LIU Mengyao, XIE Jinhong. Classification des corridors de transport ferroviaire urbain et corrélations avec les caractéristiques de déplacement [J]. Urban Transport of China, 2019, 17(5): 105-113. (en chinois)

[42] LIU Xiang, CHEN Xiaohong, PAN Haixiao. De l'« intégration station-ville » à l'« intégration par corridor » : cadre théorique du développement TOD et optimisation des modèles sous l'angle de l'espace des flux [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 34-40. (en chinois)

[43] LIN J J, GAU C C. A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations [J]. Land Use Policy, 2006, 23(3): 353-360.

[44] GUZMAN L A, CARDONA S G. Density-oriented public transport corridors: decoding their influence on BRT ridership at station-level and time-slot in Bogotá [J]. Cities, 2021, 110: 103071.

[45] CUI Xu, LIANG Pengpeng, YU Bingjie, et al. Recherche sur la théorie de planification et de conception TOD [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(5): 18-25. (en chinois)

[46] RU Xianghui, YANG Zhigang, ZHENG Meng, et al. Stratégies de développement coordonné entre transport ferroviaire et espace urbain dans les mégapoles : le cas de Beijing [J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 21-27. (en chinois)

تاريخ المراجعة: نوفمبر 2024
(تُرجم هذا المقال بمساعدة الذكاء الاصطناعي.)