

Стратегия точного согласования спроса и предложения при организации железнодорожного сообщения пригородных новых городов в режиме общественного транспорта с позиции зоны маятниковых поездок

— на примере линии Чэнду–Пуцзян

XU Lei, LIU Bing, WANG Fangkai

Аннотация. Развитие пригородных новых городов является важным направлением китайской стратегии новой урбанизации. Для их включения в зону маятниковых поездок центрального города посредством эксплуатации железной дороги в режиме городского общественного транспорта и повышения качества обслуживания в статье предложена рамка оценки и формирования стратегий, основанная на точном согласовании спроса и предложения. Эмпирическим объектом выбрана линия Чэнду–Пуцзян, соединяющая центральную часть Чэнду с пригородным новым городом Чунчжоу. На основе интеграции разнородных данных сначала определяются общий объем маятниковых поездок и модальная структура между Чунчжоу и центром Чэнду. Затем детально анализируются характеристики железнодорожных пассажиров и оценивается согласованность спроса и предложения по четырем измерениям: расписание, провозная способность, функционирование станции и подвозящий транспорт. Выявлены основные несоответствия: недостаточное число рейсов в часы пик, низкая гибкость составности поездов, сложные процедуры досмотра и контроля билетов и отсутствие ночных автобусных связей. С позиции оптимизации всей цепочки поездки предложены стратегии точного согласования спроса и предложения. Итоговые рекомендации сводятся к четырем направлениям: ориентация на спрос, повышение эффективности всей цепочки, динамическая адаптация и инновационное улучшение качества. Исследование предлагает методические ориентиры для формирования зон маятниковых поездок и совершенствования железнодорожного сообщения в режиме общественного транспорта в крупных городах.

Ключевые слова: железнодорожное сообщение в режиме общественного транспорта; согласование спроса и предложения; зона маятниковых поездок; пригородный новый город; линия Чэнду–Пуцзян.

Классификационный индекс Китайской библиотечной классификации: TU984. Код документа: A. DOI: 10.16361/j.urpf.202405008. Номер статьи: 1000-3363 (2024) 05-0055-09.

* Общий проект Национального фонда естественных наук Китая «Пространственные модели железнодорожных TOD-коридоров и стратегии их оптимизации с позиции равновесия пассажиропотоков: на примере Шанхайского метрополитенского региона» (№ 52178052); проект Министерства образования КНР 2024 г. по сотрудничеству университетов и промышленности, реализуемый Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., «Кейс разработки проекта планирования общественного транспорта на основе цифровых технологий» (№ 231100155192902).

1 Потребности формирования зон маятниковых поездок и организации железнодорожного сообщения пригородных новых городов в режиме общественного транспорта

1.1 Часовая железнодорожная зона маятниковых поездок как важная опора современной метрополитенской территории

Метрополитенская территория представляет собой пространственную форму урбанизации внутри агломерации, организованную вокруг сверхкрупного или крупного города с сильной функцией притяжения и охватывающую, как правило, часовую зону маятниковых поездок^①. Пригородные новые города являются ее важной частью и служат инструментом совершенствования стратегии урбанизации Китая, перехода к полицентрической и кластерной структуре. В период XIV пятилетки Пекин, Шанхай, Чэнду и другие крупнейшие города приняли документы, поддерживающие развитие пригородных новых городов^②.

В последние годы формирование зон маятниковых поездок как инструмента развития метрополитенских территорий и пригородных новых городов стало одним из ключевых исследовательских направлений [1-2]. Значительно выросло число работ по их границам и пространственно-временным характеристикам активности. Чай Яньвэй и соавт. [3] выделили три модели пространственной организации: центральную, ближнепригородную и дальнепригородную. Го Лян и соавт. [4] на основе больших мобильных данных выявили пространственное распределение зоны маятниковых поездок центральной части Уханя и измерили ее поясную структуру, внутренний состав и внешнюю форму. У Иминь и соавт. [5] с помощью показателей интенсивности маятниковых поездок определили основные прилегающие к Пекину районы, входящие в его зону, и предложили решения по коридорам, подгруппам и трансграничным поездкам. Одновременно быстро развивается концепция «метрополитенской территории на рельсах», преимущественно в связи с городским рельсовым транспортом [6-9]. Исследуется и роль железных дорог: Ван Дэли [10] предложил меры по формированию часовой зоны маятниковых поездок крупнейших городов с опорой на региональные и пригородные линии в четырех аспектах — пространственное размещение, транспортная поддержка, функциональное направление и институциональные гарантии.

1.2 Городской режим железнодорожного сообщения как ключевой механизм включения новых городов в региональную пространственную сеть

Для эффективной концентрации населения и функций в пригородных новых городах и их интеграции в зону маятниковых поездок центрального города необходимо создать удобную и эффективную транспортную систему [11]. В феврале 2019 г. в Руководящих мнениях Государственной комиссии по развитию и реформам о формировании и развитии современных метрополитенских территорий было предложено «создавать зоны маятниковых поездок с рельсовым транспортом в качестве каркаса, активно развивать региональные и пригородные железные дороги и приоритетно использовать существующие ресурсы для запуска региональных и пригородных поездов». В декабре 2021 г. План развития современной комплексной транспортной системы на XIV пятилетку дополнительно потребовал «активно использовать магистральные и межгородские железные дороги для маятникового сообщения, увеличивать число остановок и их частоту в ключевых узлах пассажиропотока, поощрять эксплуатацию в режиме общественного транспорта в часы пик и повышать качество услуг».

После XVIII съезда КПК развитие агломераций и метрополитенских территорий привело к заметному росту маятникового спроса на разных пространственных уровнях. Поэтому городской

режим железнодорожного сообщения получает все большее внимание; многочисленные проекты реализованы в регионах Пекин–Тяньцзинь–Хэбэй, дельты Янцзы, Большого залива Гуандун–Гонконг–Макао и Чэнду–Чунцин (табл. 1). Исторически транспортная функция постепенно сместилась от точечных межгородских деловых поездок к многоуровневому и многофункциональному обслуживанию маятниковой мобильности.

За счет высокой плотности движения, упрощения покупки билетов и процедур посадки данный режим стремится создать опыт, близкий к городскому общественному транспорту — «пришел и сразу поехал», — и тем самым существенно повысить привлекательность железной дороги. Для пригородного нового города он обеспечивает эффективную связь с центром без масштабного строительства новой инфраструктуры, одновременно предлагая пассажирам пунктуальность и комфорт. Линия Цзиньшань в Шанхае стала первой в Китае железной дорогой такого типа, обслуживающей маятниковые поездки между пригородным новым городом и центральной частью. За десять лет после открытия в 2012 г. число пар поездов выросло с 15 до 37,5 в сутки, а пассажиропоток — с 13 тыс. до 32 тыс. человек в сутки^③.

Таблица 1. Действующие в Китае проекты железнодорожного сообщения в режиме общественного транспорта и их классификация

Регион	Год	Проект	Уровень обслуживания	Основная цель
Пекин–Тяньцзинь–Хэбэй	2008	Межгородские поезда Пекин–Тяньцзинь	Между центральными городами	Деловые поездки
Пекин–Тяньцзинь–Хэбэй	2023	Северо-восточная кольцевая линия пригородной железной дороги Пекина	Центр центрального города – пригородный новый город	Маятниковые поездки
Дельта Янцзы	2012	Линия Цзиньшань в Шанхае	Центр центрального города – пригородный новый город	Маятниковые поездки
Дельта Янцзы	2017	Межгородские поезда Нинбо–Юйяо	Центр центрального города – пригородный новый город	Маятниковые поездки
Дельта Янцзы	2022	Линия Ляньюньган–Хуайань–Янчжоу–Чжэньцзян	Между периферийными городами	Деловые поездки

Регион	Год	Проект	Уровень обслуживания	Основная цель
Большой залив Гуандун– Гонконг– Макао	2021	Межгородские линии Гуанчжоу– Цинъюань и восточное кольцо Гуанчжоу	Центральный город – периферийный город	Деловые поездки
Большой залив Гуандун– Гонконг– Макао	2022	ВСМ Ганьчжоу– Шэньчжэнь	Центральный город – периферийный город	Деловые поездки
Чэнду– Чунцин	2010	Линия Чэнду– Дуцзяньян	Центр центрального города – пригородный новый город	Маятниковые поездки
Чэнду– Чунцин	2017	Городской режим поездов Чэнду–Дэян	Центральный город – периферийный город	Деловые поездки
Чэнду– Чунцин	2022	Северо-западное кольцо Чунцина	Между пригородными новыми городами	Маятниковые поездки
Другие регионы	2021	Межгородская линия Чанша–Чжучжоу– Сянтань	Центральный город – периферийный город	Деловые поездки
Другие регионы	2021	Межгородская линия Чжэнчжоу–Кайфэн– Цзяоцзо	Центральный город – периферийный город	Деловые поездки
Другие регионы	2023	Туристическая линия западного кольца Хайнаня в режиме общественного транспорта	Центральный город – периферийный город	Туризм

1.3 Для железнодорожного обслуживания пригородных новых городов необходимо повысить соответствие услуг спросу

По мере развития технологий интеграции железнодорожных сетей городской режим железнодорожного сообщения обладает значительным потенциалом для включения пригородных новых городов в зону маятниковых поездок центрального города — далее «интеграция в зону». Существующие исследования можно условно разделить на анализ спроса и предложения. Со стороны

спроса используются матрицы железнодорожных корреспонденций [12], данные мобильной сигнализации [13] и пассажирские опросы [14], чтобы описывать характеристики пассажиров, сегментировать группы и прогнозировать потоки. Со стороны предложения выявляются узкие места на этапах эксплуатации и предлагаются улучшения процедур досмотра и контроля билетов [15], схем маршрутизации поездов [16], тарифной системы [17] и модели управления [18].

В последние годы растущая разнородность пассажиров, интегрирующихся в зону [19], повысила интерес к оценке факторов спроса [20-21] и адресному совершенствованию услуг. Особое внимание уделяется трем направлениям. Первое — согласование спроса и предложения на участке «станция–станция» посредством оптимизации расписаний и схем остановок с учетом спроса каждой станции [22]. Второе — согласование на участке «место жительства/работы–станция» путем повышения доступности подвозящего транспорта на основе распределения жилья и рабочих мест [23]. Третье — согласование по уровню комфорта, поскольку чрезмерная загруженность вагонов снижает удовлетворенность поездкой [24] и ограничивает продуктивное использование времени в пути [25].

В условиях роста маятниковых поездок в метрополитенских территориях ключевой задачей становится точное выявление спроса на интеграцию в зону и предоставление соответствующей железнодорожной услуги. Хотя исследования переходят от отдельного анализа спроса и предложения к их совместному рассмотрению, комплексная рамка оценки соответствия пока отсутствует. В результате между анализом потребностей и разработкой стратегий сохраняется разрыв: недостаточно учитываются жесткие требования к времени начала и окончания работы, приемлемой продолжительности поездки в одну сторону и комфорту. Поэтому добиться точного соответствия решений спросу затруднительно.

На этом фоне объектом исследования выбрана линия Чэнду–Пуцзян, соединяющая центр Чэнду с новым городом Чунчжоу. С позиции интеграции пригородного нового города в зону маятниковых поездок на основе разнородных данных анализируется точность согласования спроса на маятниковые поездки и предложения железнодорожных услуг, после чего формулируются целевые меры. Исследование призвано служить ориентиром для китайской теории и практики.

2 Методика исследования и источники данных

2.1 Общая характеристика объекта

В 2023 г. комитет КПК и правительство Чэнду выдвинули требование «ускорить формирование эффективных зон маятниковых поездок для пригородных новых городов». Для Чунчжоу, одного из приоритетных новых городов, поставлена задача «ускорить повышение уровня эксплуатации линии Чэнду–Пуцзян в режиме общественного транспорта и облегчить маятниковые поездки между Чунчжоу и центральной частью Чэнду». Чунчжоу расположен на западе муниципальной территории Чэнду, примерно в 37 км по прямой от площади Тяньфу, и насчитывает 780 тыс. постоянных жителей.

Линия Чэнду–Пуцзян является единственной железнодорожной связью Чунчжоу с центром Чэнду. Она введена в эксплуатацию в 2018 г., рассчитана на скорость 200 км/ч, имеет длину 99 км и 11 станций (рис. 1). После соединения в 2022 г. с кольцевой линией железнодорожного узла Чэнду станция Чунчжоу получила прямое сообщение с Chengdu South и Chengdu East. По сравнению с традиционным режимом часть инфраструктуры уже адаптирована к городскому формату — установлены платформенные двери, используются поезда CRH6A, — однако точность соответствия маятниковому спросу еще требует существенного улучшения.

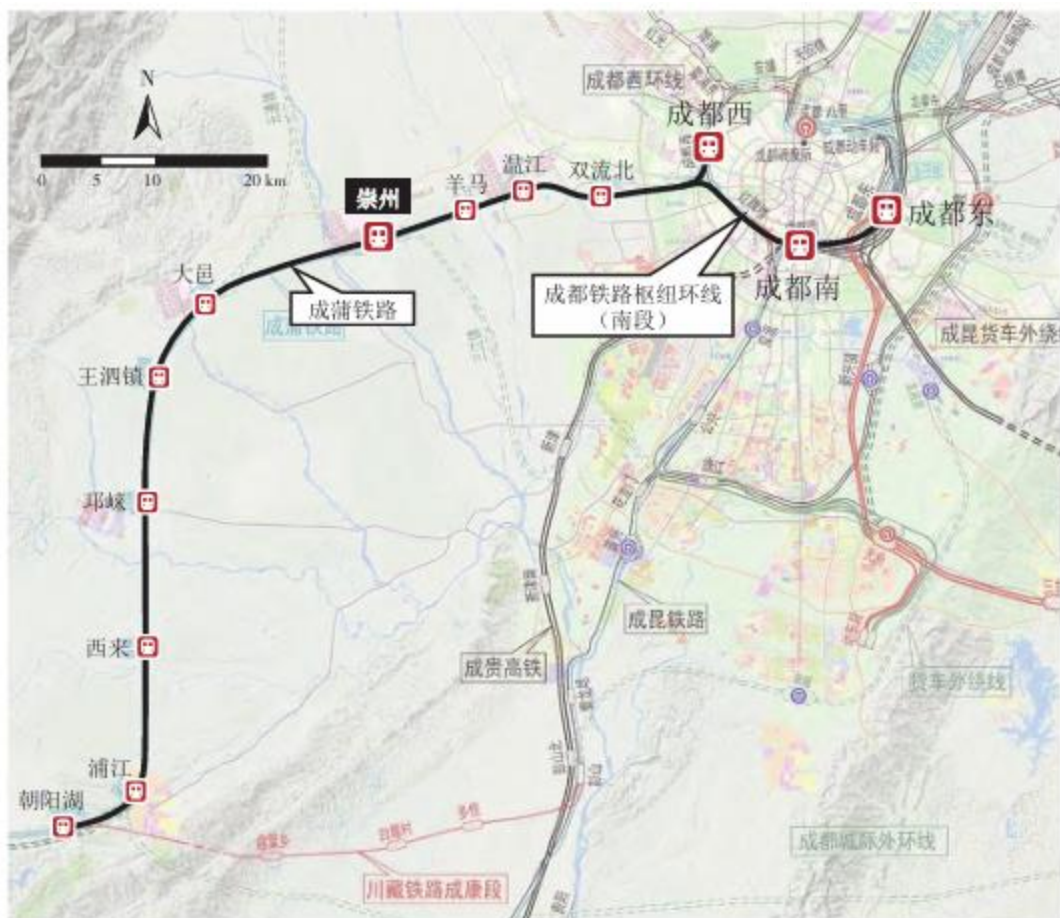


Рисунок 1. Схема линии Чэнду–Пуцзян

2.2 Границы исследования

Исследуемая территория определена на основе часовой железнодорожной изохроны от станции Чунчжоу^④ (рис. 2) с учетом административных границ и распределения рабочих мест. Местом жительства считается центральная часть Чунчжоу, а местами работы — пять центральных районов Чэнду (Цзиньцзян, Цинъян, Цзиньню, Ухоу и Чэнхуа), зона высоких технологий и Новый район Тяньфу (рис. 3).

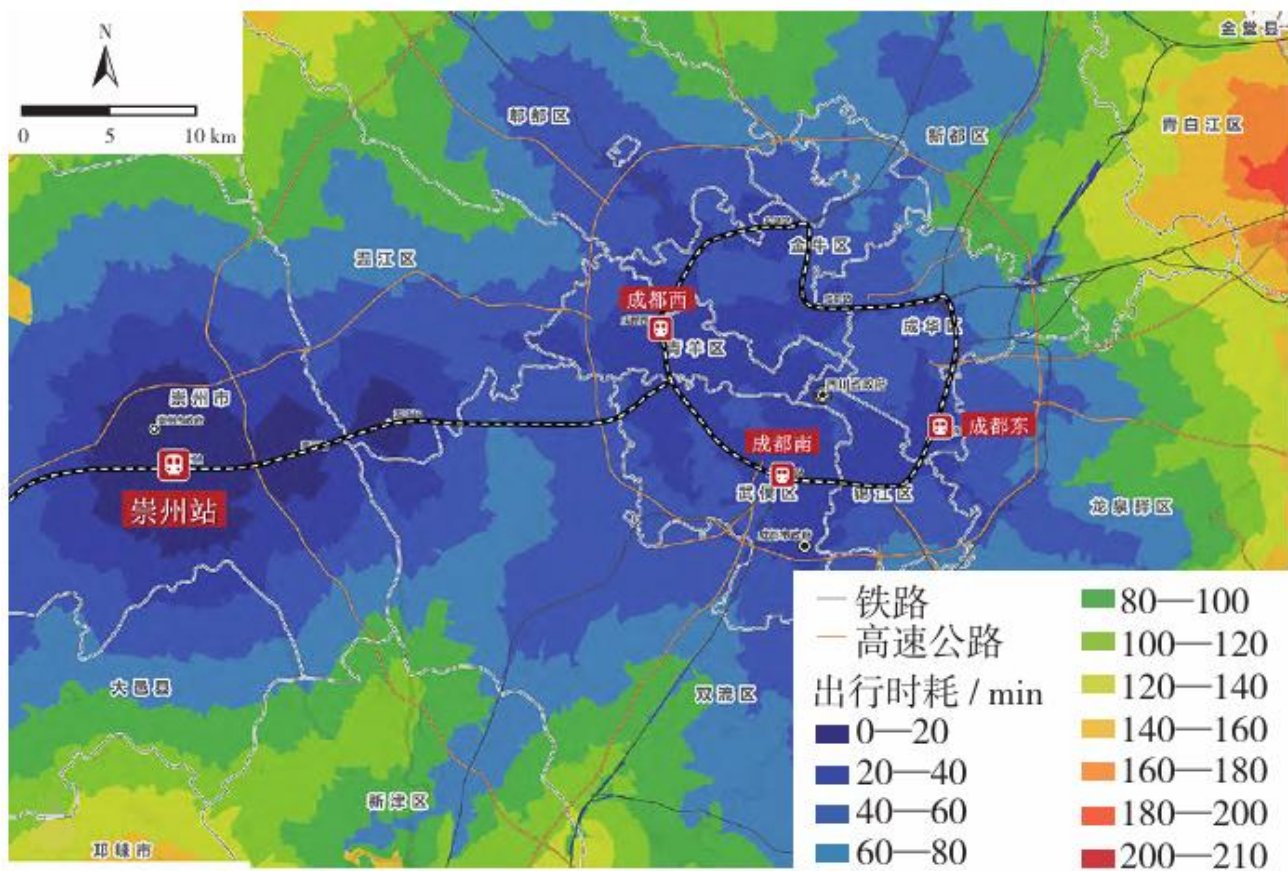


Рисунок 2. Железнодорожная изохрона поездок от станции Чунчжоу

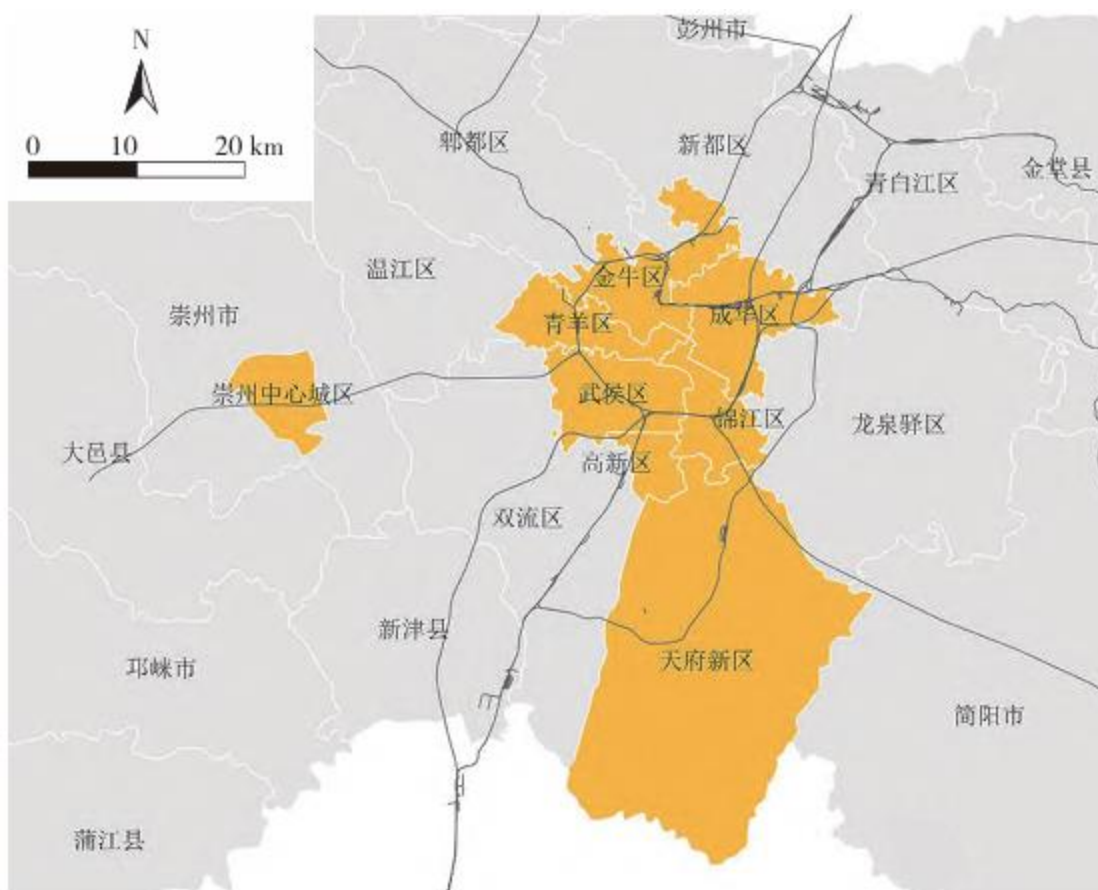


Рисунок 3. Схема исследуемой территории

2.3 Методика

На первом этапе на основе разнородных данных и профилирования населения определяется масштаб потоков между Чунчжоу и центром Чэнду, используемые способы передвижения и предпочтения железнодорожных пассажиров. На втором этапе, с использованием расписаний и данных продажи билетов, анализируется точное согласование спроса и предложения по четырем аспектам: время, провозная способность, станция и подвозящий транспорт. Количественные результаты оценки используются как основа стратегий оптимизации. Техническая схема представлена на рис. 4.

С учетом полной цепочки маятниковой поездки предложены четыре показателя соответствия, позволяющие оценить уровень городского режима железнодорожного сообщения и степень удовлетворения спроса.

(1) Временное соответствие. Рассматриваются все поезда, останавливающиеся или проходящие Чунчжоу. Выделяются три категории с потенциалом маятникового обслуживания: поезда с остановкой в Чунчжоу, чье расписание не согласовано со временем начала и окончания работы и не обеспечивает своевременное прибытие — для них предлагается изменить время остановки; поезда без остановки, время прохождения Чунчжоу и прибытия в центр которых подходит пассажирам — для них предлагается добавить остановку; поезда, уже останавливающиеся в Чунчжоу, но имеющие мало остановок на Chengdu West, South и East — для них предлагается увеличить число центральных станций.

(2) Соответствие провозной способности. Если поезд отвечает требованиям по времени и остановкам, анализируется его загрузка после отправления из Чунчжоу, то есть после посадки пассажиров, чтобы оценить достаточность вместимости. Используются два показателя:

$$\eta_1 = M / S, \quad \eta_2 = M / N$$

η_1 — коэффициент занятости сидячих мест: значение меньше 1 означает наличие свободных мест, значение не менее 1 — полную занятость; чем выше коэффициент, тем сильнее дискомфорт. η_2 — коэффициент загрузки: значение меньше 1 означает наличие резервной вместимости, значение не менее 1 — превышение допустимого уровня обслуживания. M — число пассажиров, S — число мест, N — число пассажиров при приемлемом уровне обслуживания, принятое равным 70 % номинальной вместимости по нормативам городского общественного транспорта^⑤.

(3) Соответствие станции. Весь процесс входа и выхода со станции Чунчжоу детально разбивается по времени, чтобы выявить этапы, требующие приоритетного сокращения: от точки подвоза до турникетов и от турникетов до платформы. Одновременно анализируются качество пространств и сопутствующие услуги.

(4) Соответствие подвозящего транспорта. Анализируется работа обычных автобусов у станции Чунчжоу, прежде всего согласованность их расписания с поездами. Показателем служит разница между прибытием автобуса и отправлением поезда либо между прибытием поезда и отправлением автобуса. Хорошее соответствие предполагает, что интервал покрывает необходимое время процедур входа или выхода и содержит небольшой резерв. Слишком большой или слишком малый интервал указывает на необходимость улучшения.

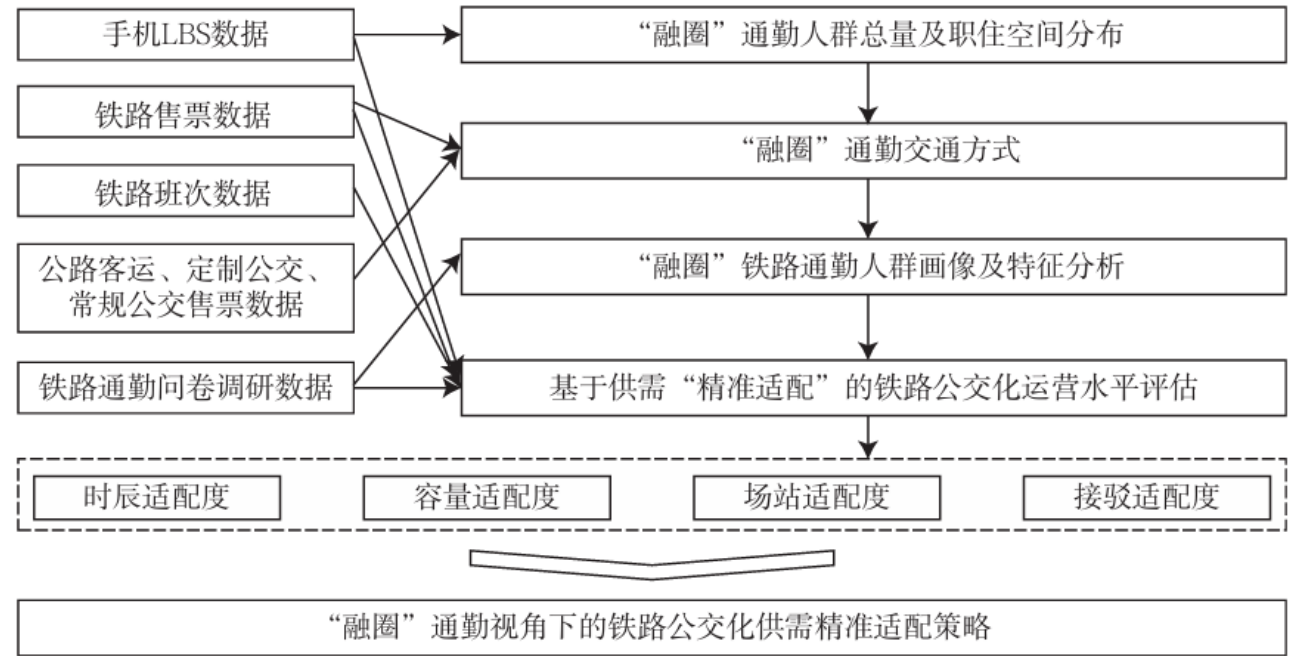


Рисунок 4. Методическая схема исследования

2.4 Источники данных

Анализ объединяет мобильные данные, сведения о работе транспорта и анкетирование. Данные геолокации мобильных устройств (location-based services, LBS), предоставленные оператором, охватывают активное постоянное и временное население муниципальной территории Чэнду за

апрель 2023 г. Данные железнодорожной билетной системы, предоставленные администрацией, включают матрицы корреспонденций всех станций линии Чэнду–Пуцзян и потоки входа и выхода. Сведения о билетах на междугородные автобусы и специализированные шаттлы предоставлены операторами; данные пассажиропотока обычных автобусов с пересадкой на метро — автобусной компанией. Эти четыре массива охватывают 10–16 апреля 2023 г. Кроме того, проведен опрос железнодорожных пассажиров в интернете и по QR-коду на станции Чунчжоу в утренний и вечерний пики; получено 2913 действительных анкет.

3 Анализ спроса на поездки при интеграции Чунчжоу в зону маятниковых поездок

3.1 Общий объем и модальная структура

На основе данных LBS лица, регулярно перемещающиеся в рабочие дни между стабильными пунктами отправления и назначения, определены как маятниковые пассажиры. Дневное место пребывания считается местом работы, ночное — местом жительства. Реальный масштаб оценивается путем экстраполяции с учетом проникновения мобильных данных.

Общий объем поездок туда и обратно между Чунчжоу и центром Чэнду составляет около 28 100 поездок в рабочий день. Утренний поток Чунчжоу–центр (7:00–9:00) и вечерний поток центр–Чунчжоу (17:00–19:00), относящиеся к интеграции в зону, достигают 9633 поездок в сутки, что соответствует 4000–5000 человек. По направлениям район Chengdu West, расположенный ближе всего, привлекает 48 % поездок; район Chengdu South, где сконцентрированы офисные и коммерческие рабочие места, — 35 %; район Chengdu East, более удаленный и менее насыщенный рабочими местами, — 17 %.

Используются пять способов: частный автомобиль, поезд, специализированный шаттл, междугородный автобус и обычный автобус с пересадкой на метро. За исключением автомобиля, остальные относятся к общественному транспорту. Оценка объемов показывает структуру «автомобиль как основной способ, поезд как вспомогательный и разнообразный общественный транспорт как дополнение»: автомобиль составляет 63 %, железная дорога — лишь 17,1 %, что указывает на низкую конкурентоспособность по сравнению с автомобилем (табл. 2).

Таблица 2. Объем и модальная структура маятниковых поездок Чунчжоу в рабочие дни

Способ	Суточные поездки туда и обратно Чунчжоу–центр Чэнду	Маятниковые поездки интеграции в зону	Доля (%)
Поезд	4 854	1 646	17,1
Обычный автобус + метро	4 781	1 320	13,7
Междугородный автобус	73	28	0,3
Специализированный шаттл	910	572	5,9
Частный автомобиль	17 442	6 066	63,0

Способ	Суточные поездки туда и обратно Чунчжоу–центр Чэнду	Маятниковые поездки интеграции в зону	Доля (%)
Итого	28 060	9 633	100,0

Направления значительно различаются по способам. Поезд и автомобиль охватывают более широкую территорию в пределах приемлемого времени и предоставляют больший выбор рабочих мест, поэтому чаще ориентированы на район Chengdu South, где сосредоточено больше вакансий: соответственно 48 и 44 %. Междугородные автобусы и специализированные шаттлы сильнее зависят от организации маршрутов; обычный автобус с метро, менее эффективный по времени, используется преимущественно для поездок в район Chengdu West (рис. 5).

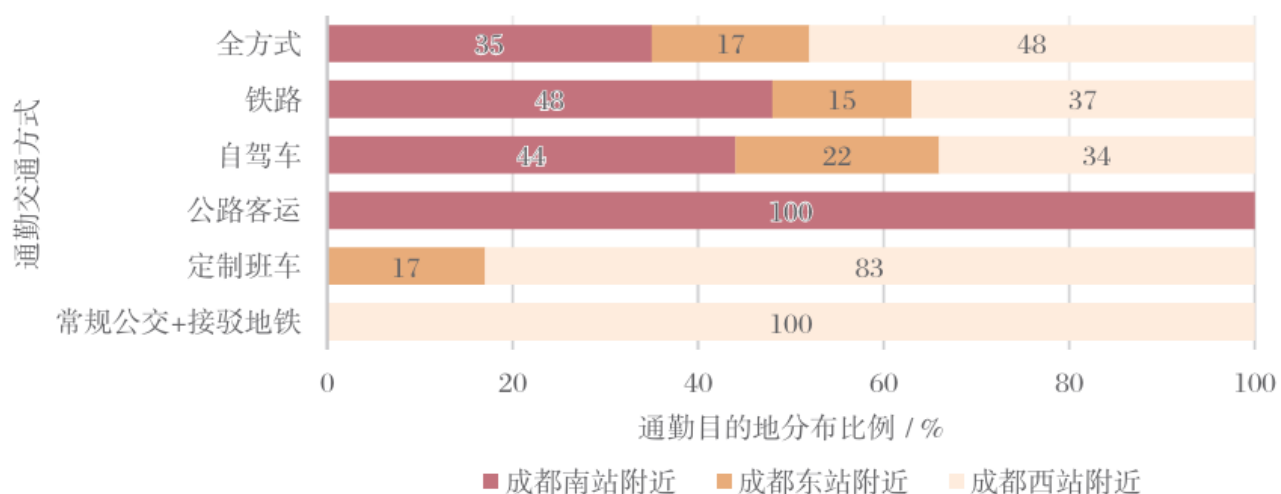


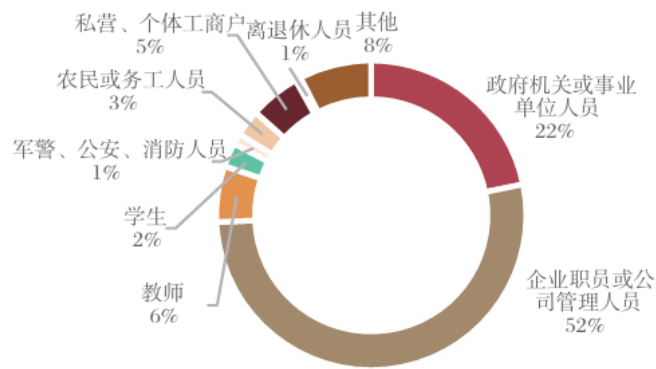
Рисунок 5. Распределение направлений маятниковых поездок Чунчжоу и различия между способами в рабочие дни

3.2 Характеристики железнодорожных пассажиров Чунчжоу

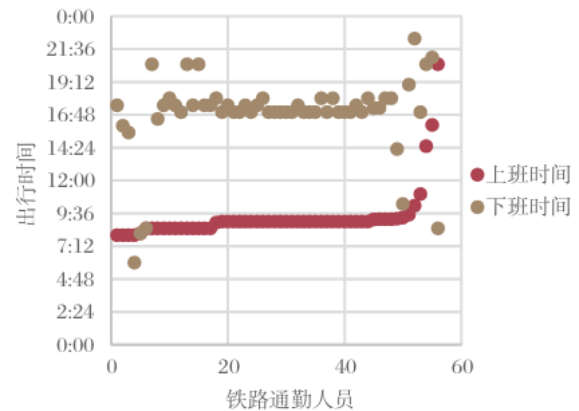
Характеристики анализируются по данным анкетирования. Профиль включает профессию, время начала и окончания работы и максимально приемлемую продолжительность поездки в одну сторону (рис. 6). Анализ подвоза включает способ и время от дома до станции, а затем от станции прибытия до места работы (рис. 7).

3.2.1 Профиль пассажиров: стабильная занятость, фиксированное рабочее время и приемлемость часовой поездки

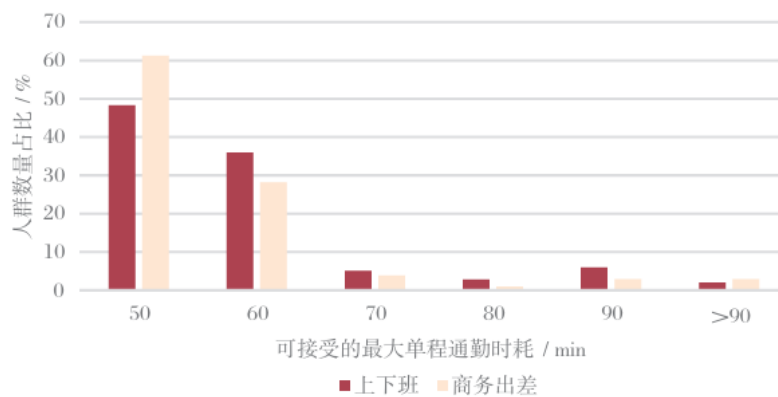
Железнодорожные пассажиры в основном работают в государственных органах, предприятиях и учреждениях; эти две группы составляют 74 %. Графики относительно стабильны: начало работы преимущественно между 8:00 и 9:00, окончание — между 17:00 и 18:00. Более 85 % пассажиров готовы тратить на поездку в одну сторону не более 60 минут.



(a) 职业构成



(b) 上下班时间



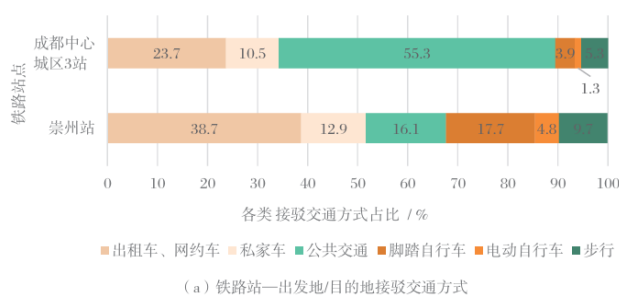
(c) 可接受的最大单程通勤时耗

Рисунок 6. Профиль железнодорожных пассажиров, интегрирующихся в зону маятниковых поездок

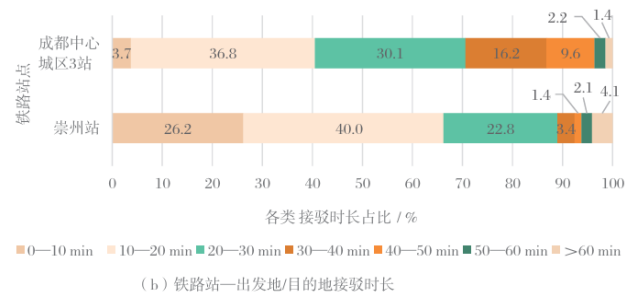
3.2.2 Характеристики подвозящих поездок

Способы подвоза. Поскольку Чунчжоу не обслуживается городским рельсовым транспортом, подъезд к станции обеспечивается главным образом индивидуальными моторизованными способами — такси, автомобилями по приложению и частными машинами; их доля составляет 51,6 %. Обычные автобусы дают лишь 16,1 %. На трех станциях центральной части Чэнду доминирует метро — 55,3 %.

Продолжительность. Среднее время подвоза составляет 18 минут в Чунчжоу и 25 минут в центральной части. Доля поездок длительностью до 20 минут равна соответственно 66,2 и 40,5 %. По расписаниям платформы 12306 время в поезде между Чунчжоу и Chengdu West, South и East составляет 18, 22 и 34 минуты. С учетом ожидаемой общей продолжительности до 60 минут эффективность подвоза требует дальнейшего повышения.



(a) 铁路站—出发地/目的地接驳交通方式



(b) 铁路站—出发地/目的地接驳时长

Рисунок 7. Характеристики подвозящего транспорта к железнодорожным станциям

3.3 Оценка соответствия городского режима железнодорожного сообщения

3.3.1 Малое число поездов, подходящих для маятниковых поездок, и низкая частота

Анализ остановок в часы пик показывает проблему «утренние поезда недостаточно ранние, вечерние — недостаточно частые» (табл. 3). Утром первый поезд из Чунчжоу в центр — С3382 (7:58 Чунчжоу – 8:20 Chengdu South), что не позволяет прибыть на работу до 8:30. Вечером между D6194 (18:42 Chengdu East, 18:59 Chengdu South – 19:22 Чунчжоу) и С3372 (20:15 Chengdu South – 20:39 Чунчжоу) отсутствуют рейсы, поэтому людям, заканчивающим работу между 19:00 и 20:00, нет подходящего поезда.

Утром число подходящих рейсов также невелико: только один до Chengdu West и ни одного до Chengdu East. Сейчас на линии ежедневно обращается 100 поездов, но лишь 46 останавливаются в Чунчжоу. Следовательно, существует значительный резерв для добавления остановок и усиления связи с тремя центральными станциями.

Таблица 3. Поезда с остановкой в Чунчжоу, подходящие для маятниковых поездок

Цель	Поезд	Отправление	Прибытие
Утром на работу	C3382	7:58, Чунчжоу	8:20, Chengdu South
Утром на работу	C6602	8:19, Чунчжоу	8:37, Chengdu West
Утром на работу	C3384	8:41, Чунчжоу	9:03, Chengdu South
Вечером домой	C3366	17:32, Chengdu South	17:55, Чунчжоу
Вечером домой	C6637	18:01, Chengdu West	18:22, Чунчжоу
Вечером домой	D6194	18:42, Chengdu East; 18:59, Chengdu South	19:22, Чунчжоу
Вечером домой	C3372	20:15, Chengdu South	20:39, Чунчжоу
Вечером домой	C3462	21:05, Chengdu East; 21:25, Chengdu South	21:49, Чунчжоу
Вечером домой	C6643	21:22, Chengdu West	21:38, Чунчжоу
Вечером домой	C3376	22:05, Chengdu South	22:29, Чунчжоу

3.3.2 Недостаточная гибкость составности поездов в отношении пассажиропотока

Большинство подходящих поездов состоит из четырех вагонов; только D6194 имеет восемь (табл. 4). Данные продажи билетов показывают, что коэффициент загрузки не достигает максимума, однако у некоторых рейсов превышает 80 %, создавая высокую плотность. Коэффициент занятости сидячих мест обычно выше 100 %, то есть большинство пассажиров, садящихся в Чунчжоу, едет стоя.

Утром в направлении центра до прибытия в Чунчжоу коэффициент загрузки трех поездов ниже 60 %. В С3382 сохраняются свободные сиденья. После посадки в Чунчжоу занятость сидячих мест возрастает примерно до 150 %, а коэффициент загрузки — до 75–80 %, что свидетельствует о высокой тесноте.

Таблица 4. Анализ резервной вместимости поездов, подходящих для маятниковых поездок

Направление	Поезд	Вагонов	Пассажиры до Чунчжоу	Пассажиры после Чунчжоу	Загрузка до (%)	Загрузка после (%)	Занятость мест до (%)	Занятость мест после (%)
Утром на работу	C3382	4	149	384	31	80	60	155
Утром на работу	C6602	4	261	371	54	77	105	150
Утром на работу	C3384	4	278	360	58	75	112	145
Вечером домой	C3366	4	430	267	89	55	173	108
Вечером домой	C6637	4	306	167	64	35	123	67
Вечером домой	D6194	8	517	186	54	19	104	38
Вечером домой	C3372	4	193	87	40	18	78	35
Вечером домой	C3462	4	404	282	84	59	163	114
Вечером домой	C6643	4	207	183	43	38	83	74
Вечером домой	C3376	4	230	175	48	36	93	71

Примечание: четырех- и восьмивагонные составы имеют соответственно 248 и 496 фиксированных сидячих мест, максимальную вместимость 688 и 1376 пассажиров и вместимость при приемлемом уровне обслуживания 481 и 963 пассажира.

3.3.3 Сложные процедуры досмотра и контроля билетов увеличивают время пребывания на станции

Разложение необходимого времени входа и выхода (рис. 8) показывает, что выход достаточно эффективен и занимает около четырех минут. Вход требует примерно одиннадцати минут. Основное узкое место — жестко ограниченное окно доступа на платформу от одиннадцати до пяти минут до отправления: пассажиры кратковременно скапливаются у контроля, и плавность входа существенно снижается. Физическое разделение досмотра и контроля билетов также увеличивает длительность и сложность процедуры.

Сопутствующие услуги на станции недостаточны. Для пассажиров с запасом времени не хватает мест для работы и чтения, легкого питания и покупок, поэтому персонализированные и качественные потребности удовлетворяются слабо.

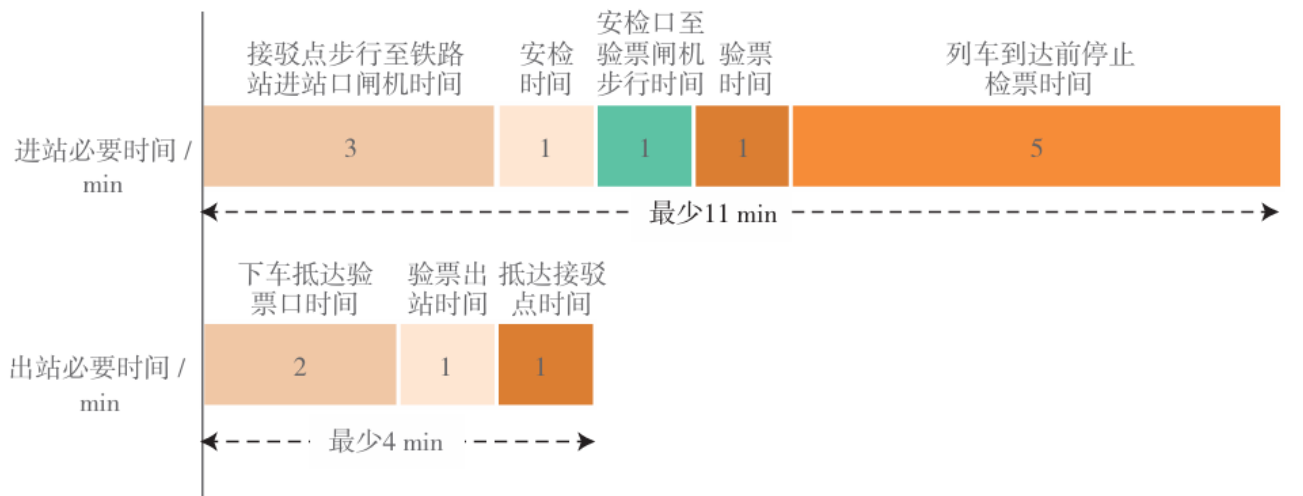


Рисунок 8. Структура необходимого времени входа и выхода на станции Чунчжоу

3.3.4 Отсутствие обычного автобусного подвоза в вечернее время

Сейчас станцию обслуживают 34 автобусных маршрута, но последние рейсы отправляются до 18:30. Пассажиры более поздних поездов остаются без пересадки. По данным продажи билетов, после 18:30 станция принимает или отправляет 917 пассажиров, включая 297 отправляющихся и 620 прибывающих. При текущей доле автобуса 16 % ночной спрос оценивается примерно в 150 поездок (табл. 5), что обосновывает необходимость дополнительных рейсов.

Таблица 5. Спрос на вечерний подвоз обычными автобусами к станции Чунчжоу

Направление	Поезд	Время отправления/прибытия в Чунчжоу	Отправившиеся/прибывшие пассажиры	Спрос на автобусный подвоз
Чунчжоу → центр	C3418	19:00	96	15

Направление	Поезд	Время отправления/прибытия в Чунчжоу	Отправившиеся/прибывшие пассажиры	Спрос на автобусный подвоз
Чунчжоу → центр	C3422	19:54	69	11
Чунчжоу → центр	C6686	20:22	81	13
Чунчжоу → центр	C3426	21:32	51	8
Центр → Чунчжоу	D6195	19:22	321	51
Центр → Чунчжоу	C3372	20:39	127	20
Центр → Чунчжоу	C6643	21:38	72	12
Центр → Чунчжоу	C3462	21:49	55	9
Центр → Чунчжоу	C3376	22:29	45	7
Итого	—	—	917	147

4 Стратегия точного согласования спроса и предложения для линии Чэнду–Пуцзян

Из-за ограниченного числа рейсов, однотипной составности, сложных процедур и плохой согласованности подвоза повышение качества должно строиться на принципе точного согласования спроса и предложения, отвечать потребностям интеграции в зону и усиливать роль железной дороги в «метрополитенской территории на рельсах». С позиции полной цепочки предлагаются меры на двух уровнях: «оптимизация поездов» и «оптимизация станции». Первый включает согласование времени, остановок и составности с потребностями (рис. 9); второй — улучшение режима ожидания и ночных пересадок (рис. 10).

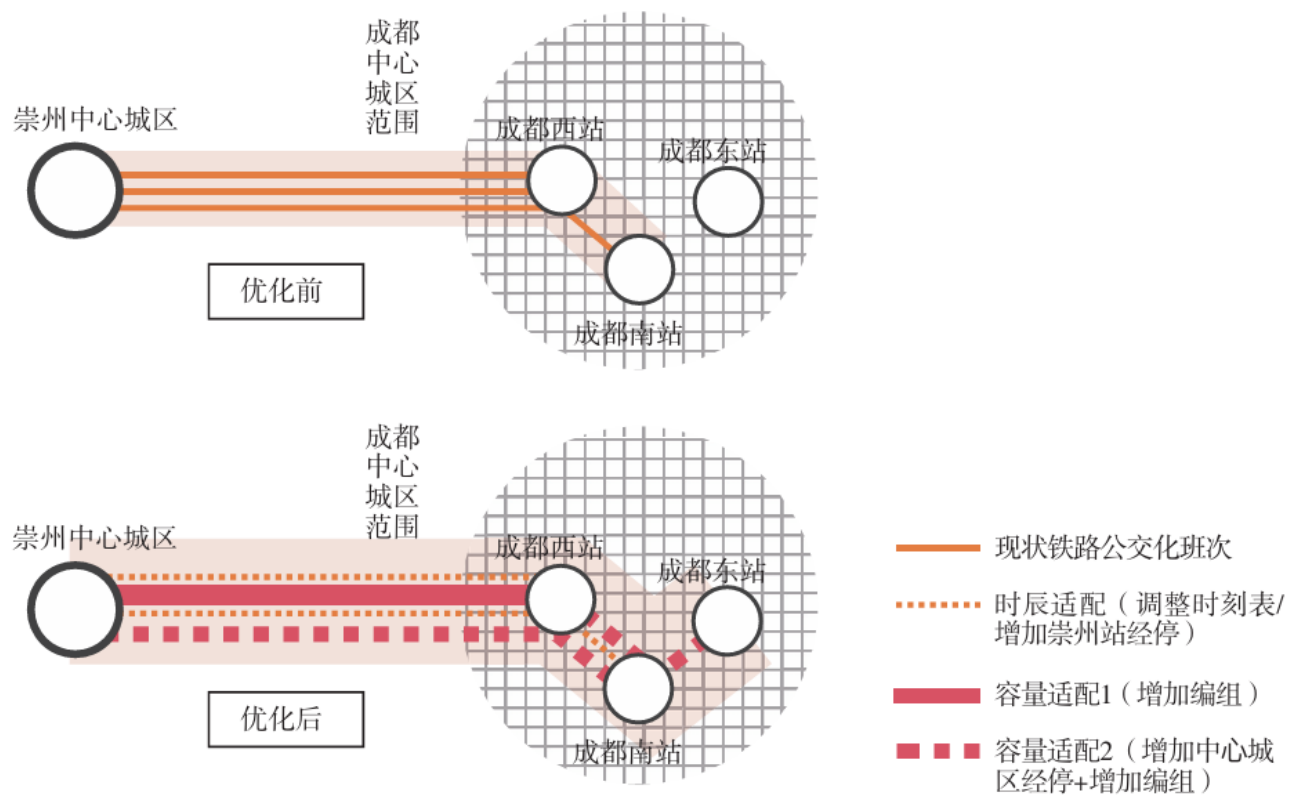


Рисунок 9. Стратегии совершенствования городского режима железнодорожного сообщения на уровне расписания и рейсов

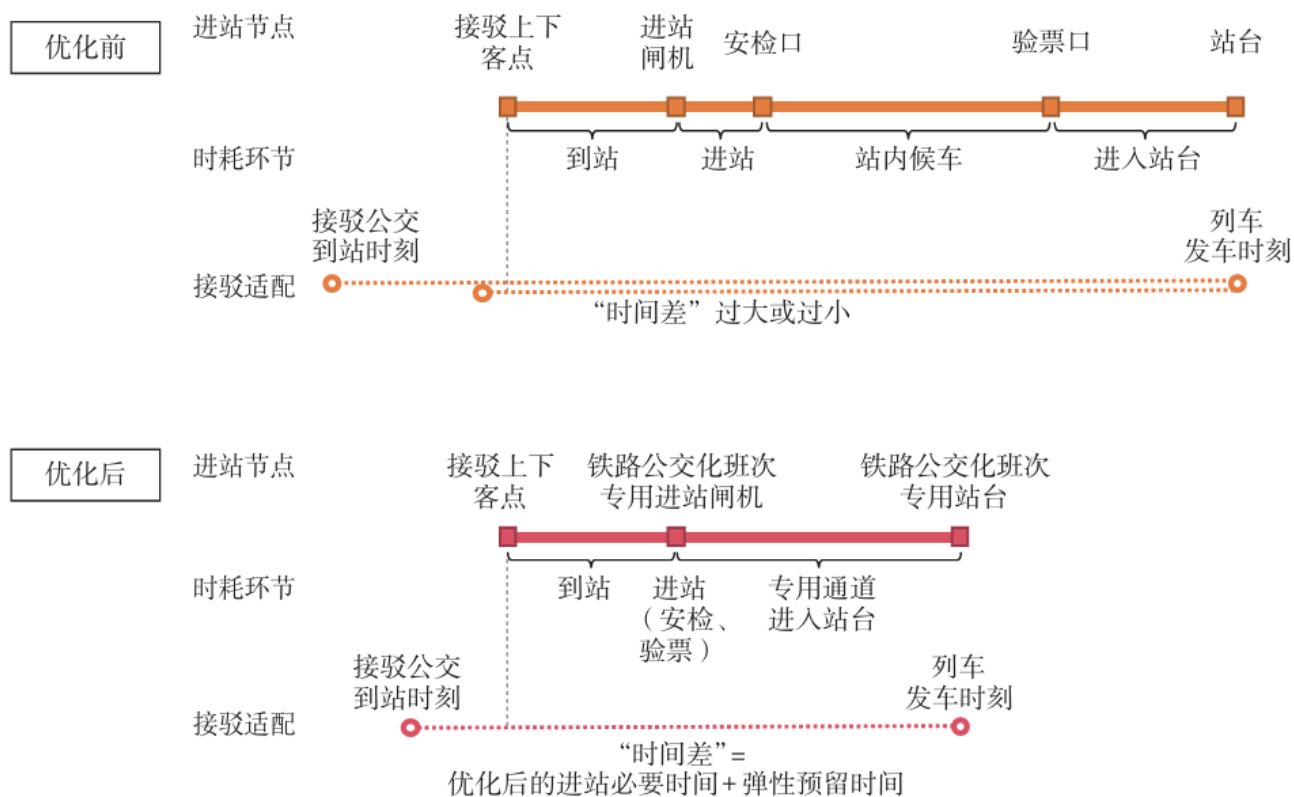


Рисунок 10. Стратегии совершенствования городского режима железнодорожного сообщения на уровне станции

4.1 Увеличить число поездов в часы пик и усилить временное соответствие

Существующее расписание следует оптимизировать с учетом времени начала и окончания работы, увеличив число подходящих рейсов в утренний и вечерний пики. Предлагается перенести отправление C3384 (Яньчжоу—Chengdu South) из Чунчжоу с 8:39 на 8:10, а прибытие в Chengdu South — с 9:03 на 8:34. Отправление C6606 (Цюньлай—Chengdu West) из Чунчжоу следует перенести с 9:43 на промежуток 7:00–8:00.

Для поездов, проходящих Чунчжоу без остановки, но имеющих подходящее время, рекомендуется добавить остановку: C3380 (7:27 Цюньлай – 8:00 Chengdu South), C3382 (7:03 Яньчжоу – 8:20 Chengdu South) и C6639 (18:30 Chengdu West – 18:48 Яньчжоу).

4.2 Оптимизировать остановки и составность для повышения соответствия провозной способности

Некоторые поезда имеют подходящее расписание и уже останавливаются или могут останавливаться в Чунчжоу. Для них следует увеличить плотность остановок на трех центральных станциях Чэнду и адаптировать составность к потоку. C3380 предлагается останавливать в Чунчжоу, продлить до Chengdu East и увеличить с четырех до восьми вагонов. C3382 следует продлить от Chengdu South до Chengdu East и также увеличить до восьми вагонов. Это устранил нынешний дефицит маятникового железнодорожного обслуживания Chengdu East.

4.3 Оптимизировать процесс ожидания и повысить соответствие станции

При нынешней схеме — ожидание в зале и прекращение контроля за пять минут до отправления — пассажиры, прибывающие незадолго до поезда, легко его пропускают. Для рейсов интеграции в зону предлагается выделить специальную платформу, где можно заранее ожидать без привязки к конкретному поезду и садиться в первый доступный. Досмотр и контроль билетов следует объединить, сократив число разрывов в маршруте входа.

Эти меры позволят сократить необходимое время входа примерно с одиннадцати до шести минут, существенно повысить эффективность и усилить ощущение надежности железнодорожной поездки. Пространства касс и залов ожидания следует интегрировать, создавая разнообразные сценарии и персонализированные услуги для пассажиров с запасом времени.

4.4 Согласовать подвозящий транспорт с прибытием и отправлением поездов

После 18:30 спрос на подвоз невелик и рассредоточен. Рекомендуется запустить ночные автобусные маршруты, тесно согласованные с железнодорожным расписанием, и точно регулировать временной интервал. По принципу «необходимое время входа/выхода плюс трехминутный резерв» автобусы для пассажиров, отправляющихся из Чунчжоу, должны прибывать примерно за девять минут до поезда; автобусы для возвращающихся — отправляться примерно через семь минут после прибытия.

С учетом распределения жилья и рабочих мест маршруты могут различаться по расстоянию: для дальних пассажиров — экспресс-линии с быстрым сообщением между ключевыми остановками, для ближних — короткие связанные маршруты, приближенные к обслуживанию «от двери до двери».

5 Заключение

Железнодорожное сообщение в режиме общественного транспорта является эффективным, экономичным и комфортным способом и особенно востребовано в условиях активного развития пригородных новых городов и зон маятниковых поездок в Китае. В статье оценена результативность линии Чэнду–Пуцзян и сформирована аналитическая рамка точного согласования спроса и предложения с позиции интеграции нового города в зону, что предлагает новый технический подход для исследований и практики.

Устойчивость данного режима зависит от способности привлечь относительно стабильную группу маятниковых пассажиров. Между Чунчжоу и центром Чэнду доля железной дороги остается низкой по сравнению с автомобилем, что указывает на значительный потенциальный спрос. Однако в часы пик провозная способность уже близка к насыщению, что ограничивает качество обслуживания. Решающее значение имеет точность согласования спроса и предложения. Помимо общей эффективности, сопоставимой с автомобилем, необходимо учитывать различающиеся ожидания по качеству и стоимости и предлагать разнообразные продукты.

Городской режим железнодорожного сообщения является важным инструментом интеграции транспортных сетей и укрепления связи между новыми городами и центром. Для сохранения и повышения его маятниковой функции рекомендуется четыре направления.

(1) Ориентация на спрос. Степень развития зон маятниковых поездок и функциональная специализация пригородных новых городов различаются между крупнейшими городами, как и стадии их развития и пространственно-временное распределение пассажиров. Приоритеты следует определять с учетом местной специфики: в жилом новом городе важнее утренний и вечерний спрос

рабочих дней, а в образовательном — поездки между учебными учреждениями и центром по выходным. Это обеспечивает точную основу для стратегии.

(2) Повышение эффективности всей цепочки. Маятниковая поездка состоит из множества этапов. Помимо времени в поезде и на станции, нельзя игнорировать «первую» и «последнюю милю». При ограничении приемлемой продолжительности повышение доступности подвозящего транспорта и охват большего числа мест работы и жилья [26] расширяют потенциальную зону и увеличивают железнодорожный пассажиропоток.

(3) Динамическая адаптация. Улучшение городского режима привлечет больше пассажиров на железную дорогу и создаст вокруг станций импульс TOD-развития, сходный с городским рельсовым транспортом. Пространственно-временное распределение жилья и рабочих мест будет продолжать меняться, поэтому необходимо регулярно анализировать динамику спроса и гибко корректировать решения.

(4) Инновационное повышение качества. Международный опыт постепенно признает «положительную полезность маятниковой поездки» [27], воспринимаемой как личное время для отдыха и ценная переходная фаза [28]. Инновационные комбинации качества и цены — например гарантированное место при умеренно более высокой стоимости — могут обеспечить решения с приоритетом комфорта и укрепить привлекательность железной дороги.

Авторы благодарят комитет КПК и правительство Чунчжоу, а также местные железнодорожные органы за предоставленные данные. Отдельная благодарность Чжан Ханьшуан, Ли Цзя, Ван Юйцзя, Ван Гэян, Ли Ли, Цзя Юньсян, Фэн Шиян, Цзинь Ян и Цао Цзюаньцзюань за помощь в проведении обследований и анализе данных.

Примечания

① Определение современной метрополитенской территории приведено в Руководящих мнениях Государственной комиссии по развитию и реформам о формировании и развитии современных метрополитенских территорий (Fagai Guihua [2019] № 328).

② В 2021 г. Шанхай принял Мнения о реализации мер по ускорению планирования и строительства новых городов в период XIV пятилетки; Пекин — План реализации мер по содействию высококачественному развитию новых городов равнинной зоны и повышению их комплексной несущей способности; в 2022 г. Чэнду — Мнения о реализации мер по совершенствованию функций центрального города, новых районов и пригородных новых городов.

③ См. The Paper: «Первая железная дорога в режиме общественного транспорта: линия Jinshan перевезла 85 млн пассажиров за десять лет», 28 сентября 2022 г., https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_20092699.

④ Граница исследования основана на часовой железнодорожной изохроне и скорректирована по административным границам и реальным поездкам. Основные параметры: скорость поезда 110 км/ч, рассчитанная по межстанционным расстояниям и расписанию; скорость автобусного подвоза в Чунчжоу 15 км/ч; скорость подвоза на метро в центральном Чэнду 35 км/ч.

⑤ Для электропоезда CRH6A, обычно используемого в таком режиме, один вагон имеет 62 сиденья и номинальную вместимость 172 человека; вместимость при приемлемом уровне обслуживания составляет 120 человек. При 62 пассажирах занятость сидений равна 100 %, при 120 пассажирах коэффициент загрузки равен 100 % — верхний предел приемлемой тесноты. При 120–172 пассажирах коэффициент превышает 100 %, что соответствует сильной перенасыщенности.

Литература

- [1] ГАО Голи, ЦЮ Айцзюнь, ПАНЬ Чжаоюй и др. Объективное понимание содержания и характеристик часовой зоны маятниковых поездок как основа устойчивого развития современных метрополитенских территорий Китая [J]. *Macroeconomic Management*, 2023(1): 26-32.
- [2] ВАН Гуантао, ЛИ Фэнь, ЛЮ Сян и др. Новая конфигурация урбанизации на новом этапе развития: понятие и критерии идентификации современных метрополитенских территорий [J]. *Urban Planning Forum*, 2021(2): 15-24.
- [3] ЧАЙ Яньвэй, ЧЖАН Сюэ, СУНЬ Даошэн. Планирование городских жизненных зон на основе пространственно-временного поведения: пример Пекина [J]. *Urban Planning Forum*, 2015(3): 61-69.
- [4] ГО Лян, ЧЖЭН Чаоян, ХУАН Цзяньчжун и др. Оптимизация пространственной структуры крупного города на основе выявления зоны маятниковых поездок: пример центральной части Уханя [J]. *City Planning Review*, 2019, 43(10): 43-54.
- [5] У Иминь, ЛИ Вэй, ДУ Лицзюнь и др. Идентификация границ, характеристики и модели трансграничных поездок в зоне маятниковых поездок Пекина [J]. *Planners*, 2023, 39(6): 56-62.
- [6] ПАНЬ Чжаоюй. Ключевые вопросы планирования и строительства рельсового транспорта в метрополитенских территориях [J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2020, 33(6): 7-14.
- [7] ЧЖАН Янь, ГУ Чжихуэй, ЧЖОУ Вэй. Соответствие мест работы и жилья в крупных городах и координация с рельсовым транспортом: пример Шэньчжэня [J]. *Urban Planning Forum*, 2018(1): 99-106.
- [8] ЧЭНЬ Тао, ПАНЬ Хайсяо. Сопряжение рельсового транспорта Шанхая с размещением населения и рабочих мест [J]. *Urban Planning Forum*, 2020(5): 32-38.
- [9] ВАН Чэнь, ЦАЙ Жуньлинь, ГЭН Цзянь и др. TOD-модель рельсового транспорта в условиях интеграции сетей: содержание, приоритеты и система, пример Сучжоу [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(S2): 135-141.
- [10] ВАН Дэли. Строительство пригородных железных дорог и пространственная реконструкция часовой зоны маятниковых поездок мегаполиса: эмпирический анализ вокруг Пекина [J]. *Urban Problems*, 2023(12): 70-77.
- [11] ЦЗЮ Сяотин, ДУ Фэнцзяо, СЮН Цзянь и др. Пять новых городов Шанхая: оптимизация функциональной системы с позиции глобального городского региона [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(3): 72-79.
- [12] ЧЖАН Хунвэй, ЛИ Вэньцзюй, ЖЭНЬ Чун. Модель организации пассажирских перевозок на линии Чэнду–Пуцзян [J]. *High-Speed Railway Technology*, 2011, 2(2): 42-46.
- [13] ВАН Цзин, ЛАЙ Ихуань, ЛЮ Цзяньфэн. Метод прогнозирования пассажиропотока региональных и пригородных железных дорог на основе профилей пассажиров [J]. *Urban Transport of China*, 2023, 21(2): 102-108.
- [14] ЧЖАН Ко, ХУАН Синь, ЦЮЙ Синьмяо и др. Меры по эксплуатации межгородской железной дороги в режиме общественного транспорта на основе анализа спроса: пример линии Пекин–Тяньцзинь [J]. *Modern Urban Research*, 2017(10): 81-88.
- [15] ЦЗОУ Минхуэй. Модели эксплуатации межгородских железных дорог в режиме общественного транспорта в Большом заливе Гуандун–Гонконг–Макао [J]. *Railway Transport and Economy*, 2021, 43(4): 91-95.

- [16] ЛИ Цзе, ЯН Лювэнь, ЛИ Оуян. Инновационные стратегии городского режима работы межгородской железной дороги Чанша–Чжучжоу–Сянтань [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(10): 1-5.
- [17] СУНЬ Жун, ТЯНЬ Во, ЦЗЯН Чживэй. Система тарифов для городского режима межгородской железной дороги Шэньчжэнь–Хуэйчжоу [J]. Railway Standard Design, 2023, 67(3): 17-21.
- [18] ХУ Сяодань, СУН Юаньшэн, ЦАО Линьвэй. Модель эксплуатационного управления поездами городского типа на существующих линиях [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(8): 104-108.
- [19] GOSTENINA V, MELNIKOV S, SYCHEVA E, et al. Development of an optimization model for commuter train traffic (case study of the Bryansk region, Russia) [J]. Transportation Research Procedia, 2022, 63: 1034-1041.
- [20] RAHMAN M, AKTHER S. Intercity commuting in metropolitan regions: a mode choice analysis of commuters traveling to Dhaka from nearby cities [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2022, 148(1): 05021060.
- [21] SHANTZ A, CASELLO J, WOULD SMA C, et al. Understanding factors associated with commuter rail ridership: a demand elasticity study of the GO Transit rail network [J]. Transportation Research Record, 2022, 2676(8): 131-143.
- [22] SHI J, YANG J, YANG L, et al. Safety-oriented train timetabling and stop planning with time-varying and elastic demand on overcrowded commuter metro lines [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2023, 175: 103136.
- [23] ZUO T, WEI H, CHEN N. Promote transit via hardening first-and-last-mile accessibility: learned from modeling commuters' transit use [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 86: 102446.
- [24] KUMAGAI J, WAKAMATSU M, MANAGI S. Do commuters adapt to in-vehicle crowding on trains? [J]. Transportation, 2021, 48: 2357-2399.
- [25] VARGHESE V, CHIKARAISHI M, KATO H. Analysis of travel-time use in crowded trains using discrete-continuous choices of commuters in Tokyo, Japan [J]. Transportation Research Record, 2020, 2674(10): 189-198.
- [26] TILAHUN N, THAKURIAH P V, LI M, et al. Transit use and the work commute: analyzing the role of last mile issues [J]. Journal of Transport Geography, 2016, 54: 359-368.
- [27] OKUBO T, KITANO N, MORIMOTO A. A transportation choice model on the commuter railroads using inverse reinforcement learning [J]. Asian Transport Studies, 2022, 8: 100072.
- [28] REDMOND L S, MOKHTARIAN P L. The positive utility of the commute: modeling ideal commute time and relative desired commute amount [J]. Transportation, 2001, 28: 179-205.

Переработанная версия: август 2024 г.

Перевод выполнен с использованием ИИ