

VOD (Low-Altitude Traffic-Led Development): международные сравнения и китайский подход

JIN Lixia, LI Shan, ZENG Jiarong, ZHANG Deya, WU Xinxin

Аннотация: Низковысотные транспортные технологии ведут городские транспортные системы от двумерных сетей к трехмерным структурам. В качестве расширения транзитно-ориентированного развития (TOD) в маловысотном измерении вертикально-ориентированное развитие (VOD) объединяет городские функции вокруг вертикальных взлетно-посадочных объектов, предлагая новый путь для городов высокой плотности для облегчения заторов и оптимизации пространственной структуры. Построив трехмерную аналитическую структуру пространства, учреждения и промышленности, это исследование рассматривает дифференцированные международные пути, включая интеграцию воздушных рельсов Осаки, соединение коридора Парижа, расширение возможностей платформы Дубая и переносной пилот Ковентри. Он определяет проблемы в местной практике Китая, такие как координация планирования воздушного пространства, межведомственные барьеры управления, слабая устойчивость бизнес-модели и ограниченное социальное признание. Затем предлагается системный путь пространственной реструктуризации, институциональных инноваций и промышленной синергии, подчеркивая переход VOD от концептуальной проверки к системной интеграции через модернизированное управление воздушным пространством, сетевую пространственную организацию и диверсифицированные промышленные экосистемы. Исследование расширяет теоретическую коннотацию развития дорожного движения и обеспечивает теоретическую поддержку и практические рекомендации для высококачественного развития низковысотной экономики Китая и городской пространственной реструктуризации.

Ключевые слова: низковысотная экономика; городская воздушная мобильность (UAM); вертикально-ориентированная модель развития (VOD); международное сравнение; путь Китая

Быстрая глобальная урбанизация усилила перегруженность дорог и нехватку пространственных ресурсов в крупных городах [1]. TOD, ориентированный на железнодорожный транзит, опирается на планарное развитие вдоль линейной инфраструктуры и, следовательно, сталкивается с ограничениями в населенных районах высокой плотности и сложной местности, включая нехватку земли, высокие затраты и социальную дифференциацию [2]. В то же время двумерные транспортные сети приближаются к насыщению пропускной способности и испытывают трудности с удовлетворением диверсифицированного, высокочастотного и чувствительного ко времени спроса на поездки.

Низковысотные транспортные технологии, представленные eVTOL, быстро развиваются и могут снизить зависимость городского транспорта от надводного пространства, поддерживая трехмерную трансформацию городской мобильности. Поэтому низковысотная экономика рассматривается как стратегическая сила для реструктуризации городского пространства, повышения интегрированной операционной эффективности и создания новых полюсов роста.

Некоторые международные столичные районы уже исследовали пилоты низковысотного транспорта и предварительно сформировали модели развития, ориентированные на маловысотный транспорт, характеризующиеся интеграцией воздушного пространства, операцией на основе данных и многоакторным сотрудничеством. Практика подчеркивает вертикальные взлетно-посадочные площадки в качестве основных узлов, которые объединяют низковысотные и наземные транспортные сети, городскую функциональную планировку и региональные промышленные экосистемы. В расширенном отчете Американской ассоциации планирования воздушной мобильности предлагается концепция VOD, которая

по существу строит вертикальную систему развития, организованную вокруг вертипортов, и изменяет городскую пространственную структуру и региональные модели [3]. По сравнению с TOD, существующие исследования VOD по-прежнему сосредоточены на технологических стандартах, управлении воздушным пространством и бизнес-моделях [4-9] и не имеют систематической городской перспективы.

В этой статье построена структура космической индустрии путем интеграции пространственного планирования, институциональной экономики и теории промышленных экосистем. Он выбирает Осаку, Париж, Дубай и Ковентри для международного сравнения, определяет дифференцированные пути и предлагает путь развития VOD для Китая, который ориентирован на местные условия, перспективный и оперативный.

1 Обзор литературы и построение аналитической основы

1.1 Эволюция коннотаций и основные характеристики модели VOD

VOD происходит от TOD, но принципиально отличается тем, что транспортный инструмент, eVTOL и носитель, маловысотное воздушное пространство, меняют организацию и работу городской мобильности. Его основным объектом является вертикальная взлетно-посадочная площадка или вертипорт. Создавая мультимодальную систему связи «воздух-земля-рельс» и составную трехмерную функциональную единицу, VOD способствует органической интеграции экономики малых высот и городских операций. Его основные характеристики включают три аспекта.

VOD интегрирует трехмерное пространство и распределённую сетевую компоновку. Он прорывается через планарную радиальную структуру TOD и опирается на крыши, транспортные узлы, зеленое пространство, пространство на набережной и другие потенциальные пространства для организации распределённых вертикальных взлетно-посадочных узлов и низковысотных маршрутов. Во-вторых, VOD требует сложной институциональной среды и межведомственной координации. Низковысотные операции включают распределение воздушного пространства, надзор за безопасностью, управление шумом, конфиденциальность данных, гражданскую авиацию, территориальное территориальное планирование, транспорт, жилищное строительство и развитие городских и сельских районов, управление чрезвычайными ситуациями, экологию и управление данными и, таким образом, в значительной степени полагаются на многоуровневое совместное управление [7-8]. В-третьих, VOD основан на сценариях и интегрирован с диверсифицированными отраслями, включая реагирование на чрезвычайные ситуации, осмотр достопримечательностей, логистику, медицинское спасение и государственное управление [9-15].

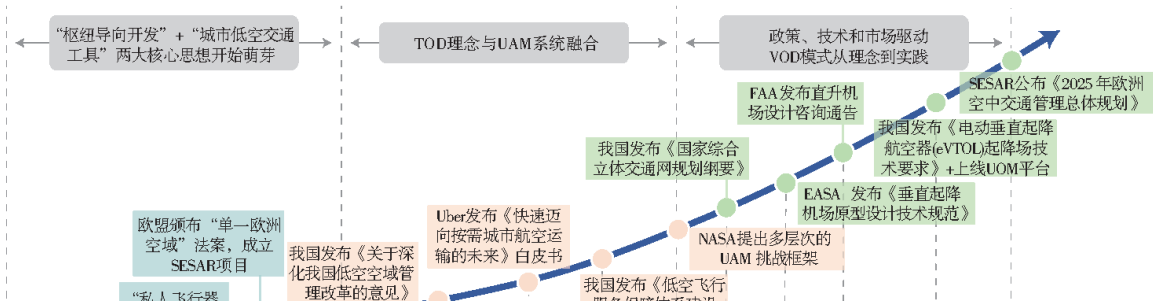
1.2 Теория стадии развития модели VOD

С развитием технологий, институтов и рынков VOD развивался на трех этапах концептуального прорастания, интеграции концепций и практического исследования и движется к сетевой интеграции. На первом этапе, с конца двадцатого века до начала двадцать первого века, еще не сформировалась четкая модель развития и эксплуатации, но появились две идеи: ориентированное на хаб развитие и городские низковысотные транспортные средства. TOD созрел как концепция интенсивного развития, в то время как личные воздушные транспортные средства и низковысотные авиационные технологии были протестированы в ограниченных сценариях, таких как осмотр достопримечательностей вертикального подъема и аварийное спасение [16-17].

На втором этапе, с 2010-х до начала 2020-х годов, батареи, материалы, автономное вождение и связанные с ними технологии продвигали eVTOL от концепции до инженерного прототипа. В 2016 году пилотируемые автономные самолеты EHang завершили публичную проверку [18], и Uber предложил

концепцию городской воздушной мобильности и сети головных портов [19-20]. НАСА и другие учреждения начали изучать системы UTM, и внимание сместилось с одиночного полета на систематическую работу [19-20]. Китай также поощрял управление маловысотным воздушным пространством и секретное управление, в то время как TOD и UAM постепенно интегрировались [21-22]. На третьем этапе, с начала 2020-х годов, новаторские города изучили разнообразные практики, в том числе встроенную модульную верификацию осаки [23-24], выделенную сеть овертипорта Дубая и городское здание бренда [25-27] и мобильную модульную демонстрацию Air-One Ковентри [28]. Будущее VOD будет развиваться в направлении сетевой интеграции, а низковысотные транспортные сети будут служить новой инфраструктурой, которая тесно связана с городской энергией, данными и функциональными системами (рис.1).

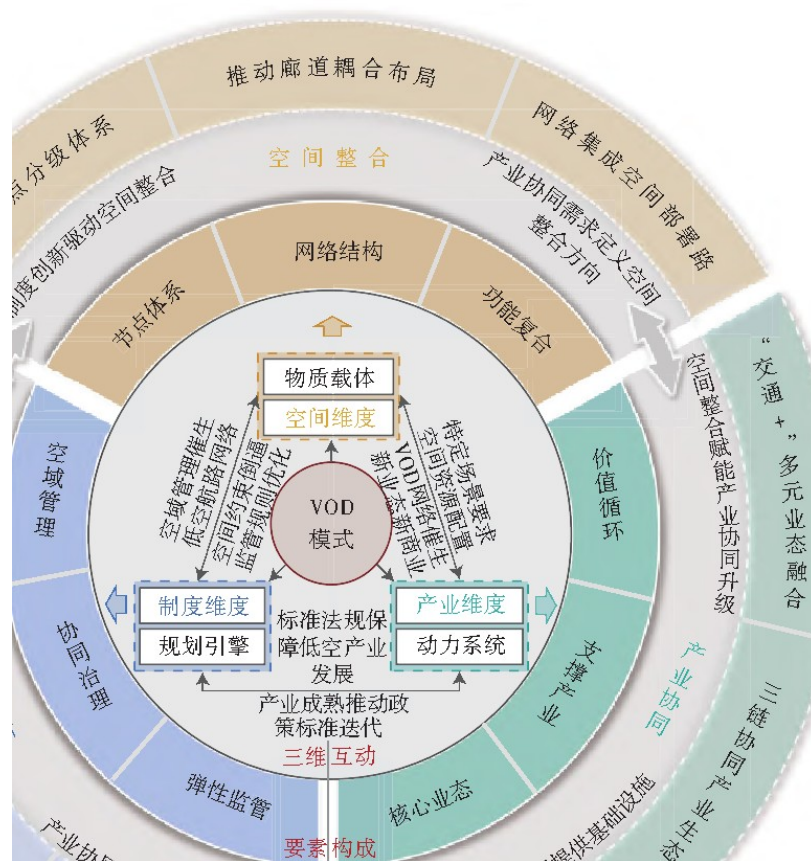
维度，缺乏从城市复杂系统视角利用 VOD (2) 复杂制度环境与跨部门协同 中待初步验证”。这为今后 VOD 概念



1 Стадии разработки моделей VOD.

1.3 Трехмерная структура космической индустрии

Для преодоления фрагментарных исследований в этой статье построена трехмерная аналитическая структура пространства, института и промышленности (рисунок 2). Он подчеркивает их взаимодействие и обеспечивает единую перспективу для объяснения сложной логики реализации и работы VOD.



2 Трехмерный каркас космической институции-индустрии.

1.3.1 Пространственное измерение: материальный носитель и морфологическая основа VOD

Пространственное измерение является материальной основой для реализации VOD. Определяет структурную эффективность низковысотных сетей. Ключевые элементы включают тип узла и выбор площадки, эволюционирующие от централизованных узлов, зависящих от аэропортов или высокоскоростных железнодорожных станций, до распределенных узлов с использованием крыш, парковок и других скрытых пространств; организацию маршрутов и сети терминалов, которые соединяют узлы через низковысотные маршруты и связывают их с наземными и подземными транспортными системами; и функциональную интеграцию и трехмерное развитие, которое стремится к чрезвычайно функциональному соединению в вертикальном направлении, чтобы головные порты стали городскими воздушными воротами, интегрирующими торговлю, офис, резиденцию и общественные услуги.

1.3.2 Институциональное измерение: ключевой механизм гарантии и регулирования внедрения VOD

Институциональное измерение обеспечивает среду правил для работы VOD. Его суть заключается в перспективных, скоординированных и гибких институциональных механизмах. Правила и стандарты управления воздушным пространством должны охватывать классификацию воздушного пространства, динамическое распределение, контроль шума, стандарты безопасности и сертификацию летной годности, тем самым обеспечивая безопасное и эффективное совместное использование воздушного пространства [36-37]. Технические стандарты, выпущенные такими агентствами, как FAA и EASA, предоставляют важные ссылки на стандартизацию инфраструктуры VOD [33]. Планирование воздушного пространства на малых высотах, включая структуры маршрутов, слои воздушного пространства и расположение узлов, является

важным звеном для повышения пропускной способности и операционной эффективности [38]. Межведомственные механизмы управления также имеют важное значение для увязки управления, ориентированного на утверждение, с обычным совместным управлением [39-40]. На ранних этапах применения технологии особенно важны пилотные программы политики и инструменты нормативной песочницы, обеспечивающие возможность проведения испытаний с контролируемым риском [41-42].

1.3.3 Промышленное измерение: устойчивый производственный потенциал VOD

Промышленное измерение касается экономической осуществимости и экологической устойчивости VOD. Основные предприятия и культивирование рынка создают первоначальную ценность за счет поездок на работу, экстренной логистики, осмотра достопримечательностей культурного туризма, оказания неотложной медицинской помощи и подобных сценариев [10-12]. Поддержка отраслей и строительство экосистем зависят от MRO, распределенных сетей энергоснабжения, платформ обслуживания полетных данных, обучения талантов, страхования и финансов. Бизнес-модель определяет устойчивость. Международный опыт показывает, что VOD должен расширять неаэронавигационный доход и создавать устойчивую прибыльность посредством коммерческой розничной торговли, рекламы, выставок, развития недвижимости и связанных с ними услуг, связанных с вертипортами, формируя благотворный цикл привлечения трафика и коммерческой реализации [43].

1.3.4 Системные рамки: взаимодействие и совместная эволюция между тремя измерениями

Пространственные, институциональные и промышленные измерения взаимозависимы и составляют органическую систему. В пространственно-институциональном взаимодействии пространственное планирование обеспечивает мелкозернистые низковысотные маршрутные сети, в то время как плотное городское пространство также требует более подробных правил регулирования. В институционально-отраслевом взаимодействии четкие правила сертификации летной годности и эксплуатации являются предпосылками для разработки eVTOL, в то время как промышленная зрелость и масштабирование постоянно способствуют улучшению стандартов и политики. В отраслевом взаимодействии конкретные сценарии применения, такие как быстрая логистика, требуют компоновок узлов и функций, которые могут эффективно охватывать широкие области, формируя модель, в которой компоновка маршрута и спрос отрасли взаимно усиливают друг друга. В целом, VOD - это экосистема, сформированная пространственной интеграцией, институциональными инновациями и промышленным сотрудничеством.

2 Международный опыт и многомерный анализ моделей VOD

Основываясь на структуре космической индустрии, в этом документе сравниваются четыре представительных случая: Осака в Японии, Париж во Франции, Дубай в Объединенных Арабских Эмиратах и Ковентри в Соединенном Королевстве.

2.1 Осака, Япония: от интеграции между станциями и городами до интегрированного маршрута авиарейсов

Осака опирается на зрелую железнодорожную сеть и опыт интеграции между станциями и городами для изучения пути VOD, который встраивает низковысотные объекты в существующие транспортные узлы. В качестве ядра он использует встроенную интеграцию железнодорожных узлов высокой плотности. Демонстрационный вертипорт OSAKAO интегрируется вокруг железнодорожной станции с объектами-кандидатами, энергоснабжением и парковочными соединениями, образуя трехмерную систему передачи между воздушным и железнодорожным транспортом и повышая эффективность соединения (рисунок 3). Институционально он опирается на зрелую территориальную комплексную систему планирования развития и транспорта Японии, включающую маловысотные объекты в существующее управление TOD.

Промышленно это обусловлено поездками и торговлей, используя пассажиропоток железнодорожного узла для предоставления высококачественных услуг по переезду и расширения розничного и выставочного бизнеса.



3 Осака Осакако вертикальный взлетно-посадочный аэропорт.

2.2 Париж, Франция: мультимодальная связь воздух-земля-вода и связь с историческими районами

Париж исследует легкий путь вмешательства в контексте защиты исторического района и транспортной интеграции. Вдоль Сены приоритет отдается вертипортам и существующим транспортным узлам, таким как аэропорты, железнодорожные станции и порты, образуя коридор «воздух-железнодорожный-водный-земля». Этот низкоэффективный, высокоинтегрированный подход позволяет избежать прямого нарушения исторической текстуры при решении структурных ограничений, таких как слабая эффективность соединения и ограниченная пропускная способность узла [46-47]. Институционально план региональной мобильности Парижа позиционирует VOD как операционное усовершенствование, которое не добавляет поверхностного занятия и может глубоко соединяться с существующими системами. В промышленном плане основное внимание уделяется таким важным сценариям, как культурный туризм и связь с аэропортами (рисунок 4).



4 Парижский узел переноса воздуха и воды.

2.3 Дубай, ОАЭ: развитие платформ, основанных на хабе, благодаря политике свободной зоны

Дубай использует свою экономику хабов и институциональные преимущества свободной зоны для модернизации VOD в транспортную отрасль. В пространственном плане он отдает приоритет планировке вертипортов в аэропортах, КБР, прибрежных туристических зонах и портах, соединяя эти узлы с городскими железнодорожными и автомобильными сетями, чтобы сформировать схему «порт-аэропорт-коридор-кластер» [26]. Институционально он опирается на механизмы быстрого высвобождения в свободных зонах и департаментах, таких как органы транспорта и безопасности, с унифицированной эксплуатацией Управлением дорог и транспорта, уменьшая барьеры для одобрения и надзора.

Промышленно он стремится построить ориентированную на хаб промышленную платформу, соединяющую транспорт, логистику, MRO, конвенции, торговлю и трансграничные цепочки поставок [27].

2.4 Ковентри, Великобритания: переносной VOD и недорогого контроль в условиях институциональной гибкости

Столкнувшись с технологической и рыночной неопределенностью, Coventry разработала экспериментальный путь VOD, характеризующийся легким вмешательством, быстрой валидацией и воспроизводимым развертыванием. Демонстрационная площадка Air-One была развернута на городской парковке, соединена с железнодорожными станциями и основными бизнес-районами и приняла модульную конфигурацию, которая была компактной, быстро развертываемой, переносимой и малонарушенной (рисунок 5). Институционально Ковентри в полной мере использовал Общеразрешенный Порядок Развития и механизмы временного разрешения, чтобы обеспечить институциональную среду низкого риска для оперативной проверки реальной сцены без сложных изменений в землепользовании или постоянного строительства [48]. Промышленно она использовала пробную эксплуатацию и сопоставление производственного сектора в качестве точек входа, ввела питание, розничную торговлю, рекламу и другие неаэронавигационные услуги, а также накопила опытную проверку и эксплуатационные данные посредством демонстраций и участия общественности.



5 Coventry Air-One.

2.5 Резюме международного опыта

Четыре международных случая показывают дифференцированные, но сопоставимые пути (таблица 1). Их общей тенденцией является переход от транспортного узла к функциональной платформе, от одноточечного тестирования к сетевому строительству и от государственного развития к рыночной экосистеме. Успешное внедрение VOD зависит от точного расположения и построения сети на пространственном уровне, институциональной гибкости и межведомственной координации на институциональном уровне, а также развития рынка на основе сценариев и создания промышленной экосистемы на промышленном уровне.

Таблица 1 Сравнение моделей VOD в международных городах

Представительная модель	Пространственная интеграция	Институциональные инновации	Промышленная синергия	Применимые сценарии
Осака: интегрированный встроенный хаб	Встроен в существующие железнодорожные узлы высокой плотности; пропускная способность узла до 100 000 пассажиров в год	Расширяет механизмы координации и обновления TOD, интегрируя координацию воздушного пространства, контроль шума и существующие правила	Коммутационный плюс коммерческий неаэронавигационный доход; неаэронавигационный доход составляет около 30%	Города высокой плотности и зрелые железнодорожные транзитные районы
Париж: соединение водного и воздушного коридоров	Расположенный вдоль Сены и существующих транспортных узлов, образующий воздушно-железнодорожно-водно-сухопутный коридор; пять запланированных узлов	Адаптация к охране исторических районов и временным разрешениям Олимпийских игр; пилоты помогают совершенствовать правила	Культурно-туристическое и аэропортовое сообщение: около 30 испытательных полетов, более 200 км, около 1000 пассажиров	Исторические города, прибрежные районы и высоконагруженные транспортные коридоры
Дубай: платформенное промышленное соответствие	Вертипорты имеют приоритет в аэропортах, КБР и портах; планируемая пропускная способность около 42 000 рейсов и 170 000 пассажиров в год	Быстрое высвобождение свободных зон и единая система управления транспортом	Транспорт и логистическая цепочка поставок; платформа для высокотехнологичной логистики и трансграничной торговли	Международные городо-центры, свободные зоны и промышленные кластеры
Ковентри: переносимый встроенный пилот	Выделенный участок плюс модульные подвижные объекты; около 15-месячного цикла проектирования и 11-недельного строительства на месте	Использует временные разрешения GPDO и ускоренное одобрение для проверки низкого риска	MRO плюс выставочная и бизнес-интеграция, более 15 000 посетителей и более 100 летных испытаний	Малые и средние города и районы обновления на этапах валидации технологий

3 Оптимизация и последствия для пути развития ВОД в Китае на основе трехмерной координации

3.1 Состояние развития и основные узкие места

3.1.1 Состояние развития и изучение местных моделей

В последние годы, с продвижением национальной стратегии и местной практики, экономика Китая перешла от проверки концепции к планированию и реализации. Пионерские города, такие как Шэньчжэнь, Гуанчжоу и Чэнду, показывают местные характеристики пространственной связи, сценарий и расположение сети. Шэньчжэнь реконструирует систему VOD интеграции хабов и покрытия сети. В планах 56 узлов и более 1500 пунктов взлета и посадки терминалов, семь комплексных узлов и три низковысотных экспериментальных узла, 120 низковысотных маршрутов и значительная промышленная экосистема [24,49]. Гуанчжоу изучил постепенный путь от минимальной единицы VOD и расширения коридора до сетевого излучения в районе Нанша Перл-Бей, сосредоточившись на трансграничных поездках на работу, логистике и туризме. Чэнду сочетает в себе сложную местность с горной логистикой и аварийной связью, создавая магистральную, ветвь и терминальную низковысотную логистическую сеть и способствуя нормальному распределению гор [50].

Таблица 2 Сравнение моделей VOD в китайских городах

регион	Пространственная планировка	Институциональные инновации	Промышленная экосистема	Характерный путь
Шэньчжэнь	56 узлов плюс более 1500 точек взлета и посадки терминала; семь комплексных узлов, три экспериментальных узла и один пассажирский хаб	Устанавливает маловысотную экономичную целевую группу и пилотирует гибкий контроль в воздушном пространстве ниже 120 м	Общественное обслуживание и коммерческая эксплуатация вместе; 77,6 десятилетия грузовых рейсов БПЛА; более 250 маршрутов; 28 000 пассажиров вертолетов; более 1700 предприятий; выходная стоимость более 90 миллиардов юаней	Связь хабов, сетевое покрытие и лидерство в производстве
Гуанчжоу	Минимальная единица VOD для расширения коридора и сетевого излучения; 22 функциональные зоны, восемь распределенных	Объединяет трансграничные правила поездок на малой высоте и исследование демонстрационной зоны беспилотной системы в	Фокусируется на трансграничных поездках, логистике и низковысотном туризме; строит сборочную базу eVTOL	Сотрудничество в районе залива, трансграничное взаимодействие и расширение финансовых возможностей

	узлов и 12 000 м маловысотных маршрутов	полном воздушном пространстве; строит 10- миллиардный фонд индустрии экономики на низкой высоте		
Чэнду	Транково-филиально- терминальная низковысотная логистическая сеть	Меры по содействию развитию низковысотной экономики	Нормализована доставка на гору; ожидается, что ежегодные одномаршрутные рейсы достигнут 260, что будет способствовать развитию логистики и аварийной связи.	Адаптация, логистика и связь в чрезвычайных ситуациях

3.1.2 Основные узкие места и проблемы

По сравнению с передовыми международными делами, китайское VOD все еще сталкивается с несколькими узкими местами. Во-первых, пространственная координация между системами планирования и сетями недостаточна. Низковысотные маршруты, безбарьерные поверхности и пропускная способность узлов еще не были систематически включены в нормативное территориальное пространственное планирование, что приводит к недостаточной основе для размещения и слабой координации между системами узлов и городскими функциональными зонами. Во-вторых, институциональные цепочки управления фрагментированы, а гибкость регулирования недостаточна. Низковысотный транспорт является очень трансграничным, но существующие системы включают в себя несколько отделов, процессы утверждения являются длительными, и подача заявки на полет может потребовать предварительного применения, увеличивая институциональные расходы [39,52]. Стандарты для унифицированных технологий, совместимости оборудования, электромагнитной совместимости и интерфейсов данных также отстают. В-третьих, бизнес-модели остаются единичными, а координация промышленных экосистем недостаточна. Операции в настоящее время в значительной степени зависят от субсидий и демонстрационных проектов, с высокими эксплуатационными расходами, слабой инициативой потребительского рынка и неполной координацией между транспортными услугами, MRO, энергоснабжением, услугами данных, страхованием и финансами [33,54].

3.2 Трехмерный путь совместного развития VOD в Китае

Основываясь на структуре космических институтов и международном опыте, Китай должен построить систематический путь, который переходит от экспериментальной демонстрации к системной интеграции.

3.2.1 Пространственная интеграция: построение модели пространственной организации связи узла-иерархии-коридора

На пространственном уровне Китай должен следовать эволюционному пути от точечного внедрения до сетевой интеграции. Во-первых, должна быть создана трехуровневая система города, городского округа и общины, соответствующая соответственно воздушно-железнодорожно-наземным транспортным узлам, композиционным коммерческим центрам и сетевым узлам общественного обслуживания. Во-вторых, низковысотные коридоры, воды, зеленые насаждения и региональные государственные низковысотные маршруты должны быть приоритетными для формирования структуры воздушного пространства коридоров, наведения на воду и поддержки узлов. В-третьих, должна быть сформирована сетевая, модульная и итеративная модель развертывания. Ранние этапы могут полагаться на мобильные и модульные средства для снижения риска, а зрелые этапы могут постепенно способствовать функциональному соединению узлов и интеграции системы.

3.2.2 Институциональные инновации: создание трехединой системы координации планирования, гибкого управления и совместного надзора

На институциональном уровне Китай должен перейти от условного разрешения к системной координации. Низковысотные элементы должны быть юридически интегрированы в территориальное пространственное планирование, а маршруты, расположение узлов и защита от препятствий должны быть включены в систему многоплановой интеграции. Руководящие принципы классификации, классификации и компоновки должны быть подготовлены для объектов VOD, а стандарты распределения портов для разных уровней должны быть включены в генеральное планирование и детальное планирование, реализуя нормативную координацию между воздушным, наземным, железнодорожным и водным транспортом. Должны быть созданы межведомственные платформы совместного управления, чтобы сократить цепочку от утверждения до эксплуатации и уточнить обязанности гражданской авиации, природных ресурсов, транспорта, управления чрезвычайными ситуациями, общественной безопасности и участников рынка.

Следует также создать гибкий механизм регулирования. Следуя международному опыту, такому как временное разрешение Ковентри и механизм быстрого выпуска Дубая, китайские города могут разработать нормативные инструменты песочницы, временные разрешения и поэтапное разрешение. Для сценариев с низким уровнем риска могут быть изучены упрощенные процедуры; для городских районов с высокой плотностью может потребоваться более строгая оценка безопасности, контроль шума и защита данных. Это позволит инновациям идти под контролируемым риском при постепенном накоплении институционального опыта.

3.2.3 Промышленная синергия: культивирование цикла создания стоимости, управляемого сценарием и поддерживаемого экосистемой

На промышленном уровне VOD следует избегать использования исключительно транспортных тарифов и разрабатывать сложные сценарии. Переезды, аварийное спасение, логистика, культурный туризм, государственное управление, инспекция и медицинские услуги могут быть дифференцированы по типу города и пространственному состоянию. Вокруг вертипортов должны быть организованы коммерческие услуги, выставка, реклама, энергоснабжение, MRO, услуги данных, страхование, финансы и обучение талантов, чтобы сформировать интегрированную экосистему. Местные органы власти должны направлять предприятия платформы, авиационные производственные фирмы, операторов недвижимости и коммерческих предприятий, а также поставщиков государственных услуг для участия в совместном создании сценариев, что позволит VOD перейти от демонстрационного трафика к устойчивой эксплуатации.

4 Выводы и перспективы

Как низковысотное расширение TOD, VOD предоставляет новый концептуальный инструмент и путь реализации для городов с высокой плотностью, чтобы реагировать на транспортные заторы, нехватку земли и пространственную реструктуризацию. Международные примеры показывают, что успех VOD зависит не только от технологии eVTOL, но и от скоординированной эволюции пространственной организации, институционального управления и промышленной экологии. Осака подчеркивает интеграцию встраиваемых воздушных железных дорог, Париж демонстрирует связь коридоров под защитой исторического района, Дубай демонстрирует расширение возможностей платформы через экономику хабов и политику свободных зон, а Ковентри обеспечивает переносимую и недорогую пилотную модель.

Для Китая разработка VOD вступает в критический переход от изолированных пилотов к систематической интеграции. Будущая работа должна укрепить три аспекта: интеграцию маловысотных маршрутов, вертипортов и защиты от препятствий в территориальное пространственное планирование; создание

гибких, но подотчетных систем регулирования посредством координации планирования, нормативных песочниц и межведомственного надзора; и культивирование диверсифицированных промышленных экосистем, управляемых сценариями и поддерживаемых работой на платформе. Эти меры могут способствовать качественному развитию низковисотной экономики и обеспечить пространственное управление для трехмерной городской трансформации.

Список литературы

- [1] Alderson A S, Beckfield J. Power and position in the world city system [J]. American Journal of Sociology, 2004, 109(4): 811-851.
- [2] Liu Xiang, Chen Xiaohong, Pan Haixiao. From station-city integration to corridor integration: a theoretical framework and model optimization of TOD development from the perspective of space of flows [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 34-40.
- [3] American Planning Association. Planning for advanced air mobility [R/OL]. [2025-12-18]. <https://www.planning.org/publications/report/9286262/>.
- [4] Zhang Xiaolan, Huang Weirong. Global trends, China's status and promotion strategies for low-altitude economy development [J]. Economic Review Journal, 2024(8): 53-62.
- [5] Goyal R, Reiche C, Fernando C, et al. Urban air mobility (UAM) market study [R]. McLean, VA: The MITRE Corporation, 2018.
- [6] Lineberger R, Hussain A, Rutgers V. Change is in the air: the elevated future of mobility: what's next on the horizon [J]. Deloitte Insights, 2019(2): 1-24.
- [7] Liu S, Liu M, Liu S, et al. Research on the security risk governance roadmap in low-altitude economic field based on the economic externality theory [J]. Engineering Proceedings, 2025, 80(1): 14.
- [8] Sun X, Wang S, Zhang X, et al. LAERACE: taking the policy fast-track towards low-altitude economy [J]. Journal of the Air Transport Research Society, 2025, 4: 100058.
- [9] Huang H, Su J, Wang F Y. The potential of low-altitude airspace: the future of urban air transportation [J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2024, 9(8): 5250-5254.
- [10] Perez D, Zou B, Farazi N P. Package delivery by electric vertical takeoff and landing aircraft? an attractiveness assessment [J]. Journal of Air Transport Management, 2025, 124: 102731.
- [11] Roberts N B, Ager E, Leith T, et al. Current summary of the evidence in drone-based emergency medical services care [J]. Resuscitation Plus, 2023, 13: 100347.
- [12] Suo Y, Li C, Tang L, et al. Exploring AAM acceptance in tourism: environmental consciousness's influence on hedonic motivation and intention to use [J]. Sustainability, 2024, 16(8): 3324.
- [13] Xu H, Wang L, Han W, et al. A survey on UAV applications in smart city management: challenges, advances, and opportunities [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2023, 16: 8982-9010.
- [14] Lu Jishan. New infrastructure of sky roads: a new engine for upgrading low-altitude transport [J]. New Economy Weekly, 2025(8): 34-41.
- [15] Zhao Zhongshan, Zhao Xi, Shao Wei, et al. Artificial intelligence and big data enabling the intelligent transformation of the low-altitude economy [J]. China Engineering Consulting, 2025(7): 113-118.
- [16] Calthorpe P. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream [M]. New York: Princeton Architectural Press, 1993.
- [17] Moore M. 21st century personal air vehicle research [C]//AIAA International Air and Space Symposium and Exposition: The Next 100 Years. Dayton, OH: AIAA, 2003.

- [18] EHang. EHang launches the autonomous aerial vehicle EHang 184 at CES [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://www.ehang.com/cn/news/55.html>.
- [19] Fadhil D N. A GIS-based analysis for selecting ground infrastructure locations for urban air mobility [D]. Munich: Technical University of Munich, 2018: 31.
- [20] Uber. Uber Elevate white paper (Oct 2016) [R/OL]. (2016-10) [2025-11-05]. <https://evtol.news/news/uber-elevate-white-paper-oct-2016>.
- [21] State Council and Central Military Commission. Opinions on deepening China's low-altitude airspace management reform [EB/OL]. [2025-10-29]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/tzgg/ggkx/201011/t20101117_1050983.html.
- [22] General Office of the State Council. Guiding opinions on promoting the development of the general aviation industry: Guobanfa [2016] No. 38 [Z]. 2016-05-13.
- [23] SkyDrive Inc. Osaka Metro unveils OSAKAKO Vertiport, a new takeoff and landing facility for eVTOL at Expo 2025 [EB/OL]. (2024-11-22) [2025-12-18]. <https://en.skydrive2020.com/archives/14888>.
- [24] Shenzhen Municipal Transport Bureau. Major events of Shenzhen's low-altitude economy in 2024 [EB/OL]. (2025-01-17) [2025-12-18]. https://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzy/gzdt/content/post_11965749.html.
- [25] Zhang Fan, Li Li. Path and policy implications of Dubai's hub-economy transformation [J]. *Global Urban Studies*, 2023, 4(4): 133-146, 192-193.
- [26] Chaudhry G A. Evolution of the transportation system in Dubai [J]. *Network Industries Quarterly*, 2012, 14(1): 7-11.
- [27] Skyports Infrastructure. World's first commercial vertiport DXV reaches topping-out construction milestone [EB/OL]. (2023-10-31) [2025-12-18]. <https://skyports.net/worlds-first-commercial-vertiport-dxv-reaches-topping-out-construction-milestone/>.
- [28] Urban-Air Port Ltd. Air One event [EB/OL]. (2022) [2025-12-18]. <https://www.urbanairport.com/airone>.
- [29] Wang Jing, Tang Qingmiao, Guo Weilong, et al. Development process and experience of urban air mobility in the United States, Europe and Japan [J]. *Urban Planning International*, 2025, 40(1): 1-9.
- [30] CPC Central Committee and State Council. Outline of the national comprehensive three-dimensional transport network plan [R/OL]. (2021-02) [2025-12-26]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm.
- [31] Civil Aviation Administration of China. Announcement on matters concerning supervision and services for civil unmanned aircraft [EB/OL]. (2024-01-03) [2025-10-29]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202401/t20240103_222078.html.
- [32] Office of the National Air Traffic Control Commission. Notice on issuing the national basic airspace classification method [EB/OL]. (2023-12-21) [2025-10-29]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202312/t20231221_222397.html.
- [33] Dang Qingqing, Li Huan, Wang Guangqiu, et al. Review of vertiport development for urban air mobility [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2025, 52(3): 1-16.
- [34] Straubinger A, Rothfeld R, Shamiyeh M, et al. An overview of current research and developments in urban air mobility: setting the scene for UAM introduction [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2020, 87: 101852.
- [35] Huang Jianzhong, He Jiawen, Zhang Weicong, et al. Urban low-altitude planning: elements, implementation pathways and planning responses for air-ground coordination [J]. *Urban Planning Forum*, 2025(5): 14-22.
- [36] Huang C, Fang S, Wu H, et al. Low-altitude intelligent transportation: system architecture, infrastructure, and key technologies [J]. *Journal of Industrial Information Integration*, 2024, 42: 100694.
- [37] Bauranov A, Rakas J. Designing airspace for urban air mobility: a review of concepts and approaches [J]. *Progress in Aerospace Sciences*, 2021, 125: 100726.

- [38] Liu Quan, Chen Yaoyao, Hong Xiaowei, et al. International experience in urban low-altitude airspace planning for UAVs [J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 64-70.
- [39] Wang Jiwu, Wang Yining, Zhang Junshen. Planning response strategies for low-altitude airspace use under the low-altitude economy [J]. Planners, 2025, 41(4): 31-38.
- [40] Bharadwaj S, Carr S, Neogi N, et al. Decentralized control synthesis for air traffic management in urban air mobility [J]. IEEE Transactions on Control of Network Systems, 2021, 8(2): 598-608.
- [41] Ding Zhihua. Application exploration and legal construction of autonomous driving regulatory sandboxes [J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2025, 24(1): 122-133.
- [42] Koumoutsidi A, Pagoni I, Polydoropoulou A. A new mobility era: stakeholders' insights regarding urban air mobility [J]. Sustainability, 2022, 14(5): 3128.
- [43] Graham A. How important are commercial revenues to today's airports? [J]. Journal of Air Transport Management, 2009, 15(3): 106-111.
- [44] SkyDrive Inc. SkyDrive_TOP [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://en.skydrive2020.com/>.
- [45] Shen Zhenjiang, Ma Yan, Guo Xiao. Research methods and recent trends in Japanese territorial spatial planning [J]. Journal of Urban and Regional Planning, 2019, 11(2): 92-106.
- [46] Zhuo Jian. From technical transport planning to policy-oriented transport planning: implications of the Paris Region Urban Mobility Plan (PDUIF) [J]. Urban Transport of China, 2019, 17(4): 17-26, 34.
- [47] Marmet J. First integrated vertiport inaugurated in Paris, epicentre of sustainable advanced air mobility in Europe [EB/OL]. (2023-05-16) [2025-12-18]. <https://presse.groupeadp.fr/first-vertiport-pontoise/>.
- [48] Participation E. The Town and Country Planning (General Permitted Development) (England) Order 2015 [EB/OL]. [2025-12-16]. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/596/contents>.
- [49] Shenzhen Municipal Planning and Natural Resources Bureau, Shenzhen Development and Reform Commission, Shenzhen Municipal Transport Bureau. Layout plan for low-altitude aircraft take-off and landing facilities in Shenzhen (2026-2035) [R/OL]. (2025-09-28) [2025-12-18]. https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/ghjh/csggh/zxgh/content/post_12470231.html.
- [50] Chengdu Municipal People's Government. A 40-minute mountain route takes only 8 minutes: mountain airborne couriers are coming [EB/OL]. (2024-12-18) [2025-12-18]. https://www.chengdu.gov.cn/cdsrmzf/c169603/2024-12/18/content_a43711db7fdd417f968d12fdb3e1838d.shtml.
- [51] Shaanxi Party Building Network [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://www.sx-dj.gov.cn/ywsd/rdgc/1922135595345530881.html>.
- [52] Giuffrida N, Le Pira M, Inturri G, et al. On-demand flexible transit in fast-growing cities: the case of Dubai [J]. Sustainability, 2020, 12(11): 4455.
- [53] Participation E. The Town and Country Planning (General Permitted Development) (England) Order 2015 [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/596>.
- [54] Chen Yijun, Yu Shasha, Zhang Xuejun. Quantitative assessment of third-party ground risk for UAV operation in urban low-altitude scenarios [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2025, 51(3): 806-815.