

Эволюция и перспективы исследований по планированию городских подземных пространств в Китае

ТАН Юйцин, Е Цзы

Резюме : Развитие городских подземных пространств является ключевым средством оптимизации пространственной структуры, совершенствования инфраструктуры и повышения устойчивости городов. Это важный инструмент для достижения целей низкоуглеродного и устойчивого развития городов, и его научное планирование привлекает всё большее внимание. В данном контексте исследование использует программное обеспечение CiteSpace и базу данных CNKI (China National Knowledge Infrastructure) для систематического анализа прогресса, ключевых тем и тенденций исследований по планированию городских подземных пространств в Китае за период 1995–2024 гг. Результаты показывают согласованное развитие пространственного планирования, предварительной комплексной оценки и последующего управления реализацией. Выделены три этапа эволюции: «этап разведочного развития» (до 2007 г.), характеризующийся фундаментальными исследованиями и накоплением практического опыта; «этап быстрого роста» (2008–2018 гг.), отмеченный продвижением в методологии построения систем, пространственной координации и технической стандартизации при одновременной концентрации на городском рельсовом транспорте, экологической энергоэффективности и обеспечении безопасности; «этап высококачественного развития» (с 2019 г.), ориентированный на интеграцию планирования подземных пространств в национальную систему территориального пространственного планирования в интересах городского обновления, а также на освоение человекоориентированного, зелёного, интеллектуального и устойчивого планирования подземных пространств. В заключение обсуждаются перспективы развития планирования городских подземных пространств с точки зрения функциональной комплексности, встраивания и совместного использования.

Ключевые слова: городское подземное пространство; пространственное планирование; обзор литературы; этап развития

Городское подземное пространство в общем смысле обозначает совокупность пространств, расположенных ниже поверхности земли. С точки зрения городского строительства под подземным пространством чаще всего понимаются подземные инженерные сооружения, использующие пространство как носитель, то есть подземное пространство в узком смысле [1].

Как важная часть территориальных пространственных ресурсов, городские подземные пространства Китая играли ключевую роль на каждом этапе своего развития. В 1950–1980-х годах они преимущественно служили целям гражданской обороны. С начала политики реформ и открытости использование подземных пространств постепенно перешло от этапа двойного назначения (мирное и военное время), ориентированного на оборонное строительство, к этапу упорядоченного развития, направленного на обслуживание городского строительства. В XXI веке подземные пространства стали играть важную роль в улучшении экологической среды, оптимизации

пространственной структуры и повышении устойчивости городов [2-4], перейдя от разведочного развития к этапу быстрого роста; исследования также приобрели всё более разнообразный характер.

После 2019 года, в рамках новой системы территориального пространственного планирования, планирование городских подземных пространств как специализированного вида планирования должно обеспечивать баланс между защитой ресурсов и их разработкой, усиливая стратегическое руководство и рациональное использование подземных пространственных ресурсов [2]. Подземные пространства также играют незаменимую роль в достижении целей «двойного углерода» и являются важным инструментом устойчивого развития городов [3,5]. Их вклад в высококачественное городское развитие становится всё более признанным обществом.

Таким образом, анализ эволюции исследований по планированию городских подземных пространств в Китае необходим для определения направления развития, использования результатов исследований в рамках системы территориального пространственного планирования, адаптации к социально-экономическим, институциональным и техническим изменениям, а также для более эффективного обеспечения создания комфортных, устойчивых и интеллектуальных городов.

1 Методология и данные исследования

1.1 Источники данных

В данном исследовании используется программное обеспечение CiteSpace для библиометрического анализа. Документы взяты из китайской академической базы данных CNKI. Поиск выполнялся с использованием комбинаций тематических терминов, таких как «эксплуатация и использование городских подземных пространств» и «планирование городских подземных пространств». Период исследования охватывает январь 1995 года — с этого времени наблюдается стабильный объём публикаций — по декабрь 2024 года. С учётом общего уровня и влияния отобраны только данные из журналов, входящих в китайский перечень 核心期刊 (Peking Core) и Индекс цитирования социальных наук Китая (CSSCI), — всего 896 статей.

1.2 Определение тематики и отбор данных

Процесс освоения городских подземных пространств включает следующие основные этапы: разведка, оценка, планирование, строительство, эксплуатация и обслуживание. Этот процесс требует междисциплинарного взаимодействия геологии и геологической инженерии, геодезии и геоматики, градостроительства, архитектуры и строительной инженерии. Каждое исследование сосредоточено на своём аспекте. Настоящее исследование фокусируется на перспективе «пространственного планирования» и отбирает документы, связанные с территориальным пространственным планированием и градостроительством.

После последовательной проверки и исключения дубликатов и нерелевантных документов было отобрано 674 статьи. При годовом временном интервале для библиометрического анализа распределение публикаций по годам и тенденции изменений представлены на рис. 1.

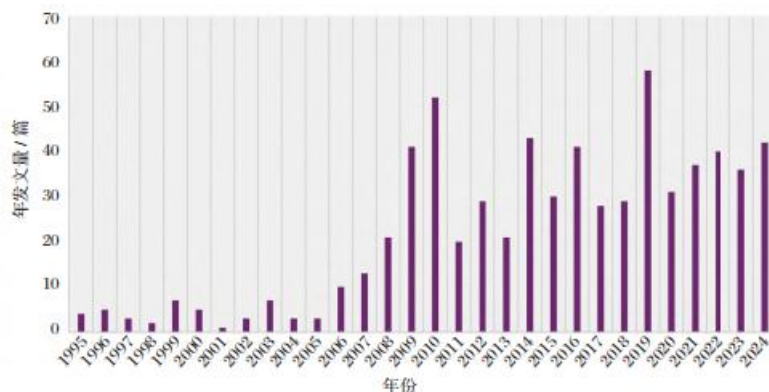


Рис.1 Количество соответствующих статей, опубликованных в каждый год с 1995 по 2024 год

2 Общий статистический анализ исследований

2.1 Распределение публикаций по времени

Освоение городских подземных пространств в Китае начало постепенно сочетаться с городским строительством с 1987 года. В 1997 году был обнародован «Регламент управления освоением городских подземных пространств», в котором указывалось, что «народные правительства всех уровней при составлении генерального плана города должны, в соответствии с потребностями городского развития, разрабатывать план освоения городских подземных пространств» [5]. Именно с этого периода начались полномасштабные исследования по планированию городских подземных пространств. С 1995 года в Китае ежегодно публикуется стабильное количество исследований, хотя общий объём остаётся невелик. Примерно с 2008 года число публикаций начало устойчиво расти, сохраняясь на относительно высоком уровне, с колебаниями в годы, связанные с крупными событиями или принятием важных политических решений.

2.2 Распределение исследовательских организаций

Распределение исследовательских организаций отражает степень заинтересованности различных академических институтов в исследованиях по планированию городских подземных пространств. Глобальный анализ с использованием индекса g (g -индекс) показывает, что 674 статьи охватывают 239 академических организаций в различных областях; количество связей в сети сотрудничества между организациями составляет 111, а плотность сети — 0,0039. Если рассматривать только организации, входящие в 5 % наиболее часто встречающихся за каждый временной интервал, то получается 88 организаций и 67 связанных сетевых связей с плотностью 0,0175. Это свидетельствует о значительном количестве вовлечённых организаций, при этом плотность сотрудничества между ведущими организациями заметно выше общей, что указывает на тенденцию концентрации сотрудничества среди «головных» институтов, тогда как сотрудничество между обычными исследовательскими организациями остаётся относительно редким.

Как показано в табл. 1, лишь 7 организаций опубликовали 10 и более статей, преимущественно университеты и научно-исследовательские институты. Эти организации составляют 2,9 % от общего числа, но их совокупные публикации — 17,4 % от общего объёма, что свидетельствует о «длиннохвостом» характере распределения

организаций в данной области.

Таблица 1 Статистика исследовательских организаций в области планирования городских подземных пространств (публикации ≥ 10)

№	Организация	Частота	Год первой публикации
1	Исследовательский центр подземных пространств, Университет Тунцзи	32	1995
2	Кафедра подземной архитектуры и инженерии, Университет Тунцзи	29	2007
3	Нанкинский центр геологических исследований, Китайская геологическая служба	13	2003
4	Генеральный институт проектирования и исследований муниципального строительства Шанхая (Группа)	12	1999
5	Исследовательский центр подземных пространств, Политехнический университет Народно-освободительной армии	11	2010
6	Факультет архитектуры и градостроительства, Пекинский политехнический университет	10	2016
7	Институт архитектурного проектирования и исследований Университета Тунцзи (Группа)	10	2016

2.3 Распределение исследователей

По общему числу публикаций исследователей, более 10 статей опубликовали ПЭН Фанлэ, ШУЮ и ЦЯО Юнкан из Университета Тунцзи, а также ЧЭН Чжилун из Инженерного университета Сухопутных войск НОАК. Анализ сети совместного

появления авторов с высокой публикационной активностью (≥ 5 статей) показывает, что исследователи в одной сети сотрудничества, как правило, принадлежат к одной организации, при этом сотрудничество охватывает различные годы. За пределами наиболее продуктивных авторов сотрудничество редкое, и других устойчивых сетей совместного появления не наблюдается.

Временное распределение исследователей обнаруживает отчётливые стадийные характеристики. К числу ведущих исследователей раннего периода относятся ЦЯН Циху, ЧЭН Чжилун, ГО Дунцзюнь и ШУЮ, чьи работы охватывали развитие, предотвращение катастроф, комплексное освоение и планирование подземных пространств; они заложили основу для исследований в данной области и продолжают вносить в неё вклад. В период около 2010–2020 гг. появились новые ведущие исследователи, среди которых ЮАНЬ Хун, чьи работы сосредоточены на системе управления и стратегиях планирования подземных пространств, и ЦЯО Юнкан, чьи исследования сочетают технологические тенденции и потребности, охватывая городское обновление, направления трансформации и алгоритмическое моделирование.

3 Анализ тенденций и ключевых тем исследований

3.1 Общий обзор ключевых тем

Совместное появление и временное распределение ключевых слов позволяют проследить академическое развитие в области планирования городских подземных пространств и выделить его этапы. Десять ключевых слов имеют частоту совместного появления ≥ 5 (табл. 2). За исключением собственно «подземного пространства», относительно высокую центральность демонстрируют термины «эксплуатация и использование», «городской рельсовый транспорт» и «инженерные сооружения гражданской обороны». С учётом их временной устойчивости (рис. 2) эти темы непрерывно исследуются с момента появления, что позволяет заключить: они остаются одними из стержневых направлений в планировании подземных пространств.

На рис. 3 представлена кластеризация ключевых слов: модулярность сети Q составляет 0,59, что свидетельствует о значимой кластерной структуре; значение Mean Silhouette равно 0,98, что отражает высокую однородность и достоверность результатов кластеризации. Выделяется 6 репрезентативных кластеров, согласующихся с распределением указанных ключевых слов [рис. 3(b)]. Внутри кластеров распределение ключевых слов более разнообразно, появляются такие вторичные термины, как коммунальная галерея, стратегия развития, городское обновление, скоординированное развитие и стратегии планирования. Это отражает диверсификацию путей реализации и направлений исследований, включая увязку с другими городскими пространствами и системами планирования, а не рассмотрение подземного пространства как изолированной системы.

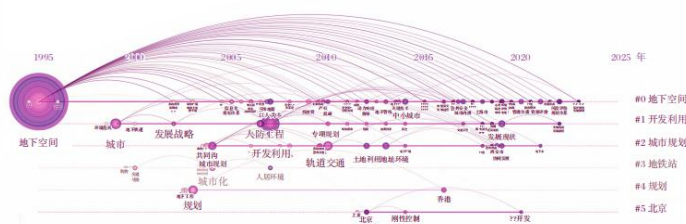


Рис.2 Временная линия ключевых слов в исследовании

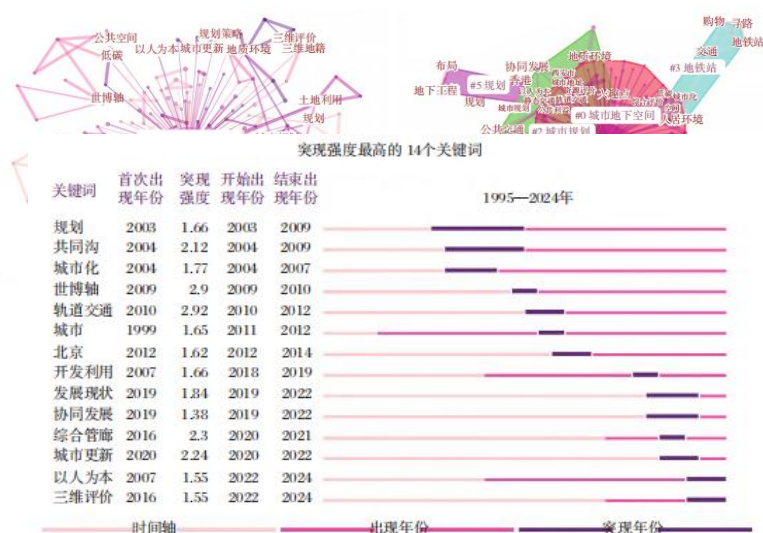
Таблица 2 Статистика ключевых слов в исследованиях по планированию городских подземных пространств (частота ≥ 5)

№	Ключевое слово	Частота	Центральность	Год первого появления
1	Подземное пространство	279	0,93	1995
2	Эксплуатация и использование	38	0,07	2007
3	Планирование	16	0,05	2003
4	Город	12	0	1999
5	Городское планирование	8	0	2004
6	Планирование городского планирования	8	0,07	2010
7	Городской рельсовый транспорт	6	0,04	2016
8	Коммунальная галерея	5	0,07	2007
9	Инженерные сооружения гражданской обороны	5	0,05	2008
10	Общественное пространство	5	0,03	2009

Рис.3 Карта совпадения ключевых слов и вид кластеризации

3.2 Тенденции развития ключевых тем

На основе предварительного исследования ключевых тем, анализ «всплесков»



ключевых слов позволяет продолжить изучение эволюции планирования городских подземных пространств. Сохраняя наиболее влиятельные узлы документов на временной диаграмме (рис. 2), а также используя анализ частотности ключевых слов за отдельные репрезентативные годы (табл. 3) и анализ всплесковых слов (рис. 4), совместно с учётом изменений годового числа публикаций, временной диаграммы и тенденций политического регулирования, после повторной проверки содержания исследований за годы с малым числом публикаций или незначительными частотными характеристиками, исследования можно разделить на три этапа.

Рис.4 Вид взрыва ключевых слов в исследовании

Таблица 3. Исследование горячих ключевых слов в различные периоды

этап	Год представительства	Основные ключевые слова (частота)
Этап I	2004	Подземное пространство (7); Планирование (3); Городская площадь (2)
	2009	Подземное пространство (16); Разработка и использование (4); Инвестиции и финансирование (3)
Этап II	2010	Подземное пространство (16); Разработка и использование (4); Инвестиции и финансирование (3)
	2013	Подземное пространство (30); Экспо-Ось (4); Разработка и использование (3); Железнодорожный транзит (3); естественное освещение (2); Экология (2)
	2016	Подземное пространство (10); Предотвращение бедствий (4); Станция метро (2)
	2020	Подземное пространство (16); Коммунальный туннель (3); Умный город (2)
Этап III	2021	Подземное пространство (9); Коммунальный туннель (3); Система управления (3); Городское обновление (2)
	2022	Подземное пространство (12); Разработка и использование (4); Оценка ресурсов (3);

		Коммунальный туннель (2)
	2023	Подземное пространство (15); Стратегия планирования (5); Обновление городов (3); Система планирования (3); Пригодность (2)
	2024	Подземное пространство (15); Предотвращение и уменьшение опасности бедствий (3); повышение устойчивости (3); 3D кадастр (2); Городское затопление (2)

3.2.1 До 2007 г.: этап разведочного развития

Данный этап охватывает период от зарождения исследований по планированию городских подземных пространств в Китае до примерно 2007 года.

В связи со строительством и вводом в эксплуатацию линий метрополитена в ряде городов, с 2001 года городской рельсовый транспорт был определён в качестве приоритета городского транспортного строительства, а период 10-й пятилетки — как стартовый этап «планирования и строительства метрополитена и лёгкого рельсового транспорта» [6]. Последующие политические документы подтвердили требование упорядоченного развития городского рельсового транспорта и официально включили его в стратегию «приоритета общественного транспорта» [7]. Метрополитен напрямую стимулировал быстрый рост масштабов городских подземных пространств в Китае, что настоятельно потребовало научного планирования для управления их освоением. Поскольку эта область планирования ранее практически не разрабатывалась, на данном этапе преимущественно заимствовался международный опыт: планирование и строительство подземного города Монреаля в Канаде [8], освоение подземных пространств Токио в Японии [9], а также обобщение опыта в области руководящих принципов, нормативов и стимулирующих мер [10].

Первоначальные исследования были сосредоточены на разработке планов. В связи с низкой наглядностью и высокой сложностью подземных пространств требовались специфические методы оценки ресурсов. Были проведены фундаментальные работы по оценке потенциала освоения подземных пространств [11], построена система оценочных показателей [12], внедрена концепция «оценки качества ресурсов», внедрены методы нечёткой комплексной оценки и трёхмерной визуализации [13].

Управленческая реализация — цель планирования — требует правовой поддержки. Наряду с использованием японского опыта правового регулирования освоения подземных пространств [14], такие города, как Шэньчжэнь, начали обсуждение законодательства по использованию подземных пространств, в особенности создание системы местных нормативных актов [15].

На уровне собственно пространственного планирования, после определения стратегий и целей развития подземных пространств [16], в Китае начались исследования концепций и технических подходов к планированию освоения подземных пространств [4], были созданы системы показателей для оценки планирования, включая вопросы устойчивого развития [17]. Параллельно начались практические работы по

планированию подземных пространств для городов в целом или их ключевых районов: концептуальный план подземных пространств Шанхая [18], концептуальный план подземных пространств ядра нового района Цяньцзян в Ханчжоу [19], контроль планирования подземных пространств делового района Хуандао в Циндао [20] и план подземной сетчатой системы в ядре центрального делового района Шанхая [21].

3.2.22008–2018 гг.: этап быстрого роста

В 2008 году был принят и введён в действие «Закон о планировании городской и сельской местности», восполнивший пробел прежнего «Закона о городском планировании» в части подземных пространств и установивший, что «освоение и использование городских подземных пространств... должно следовать принципам комплексного размещения, комбинированного освоения и рационального использования, с полным учётом потребностей предотвращения катастроф, гражданской обороны и связи». С проведением Олимпийских игр 2008 года в Пекине и Всемирной выставки 2010 года в Шанхае городское развитие Китая вышло на ускоренные темпы, и освоение подземных пространств последовало за этим. Принятый в 2007 году «Закон о вещных правах» предусмотрел, что «права пользования застроенными участками могут быть отдельно установлены на поверхности, над землёй или под землёй», что дополнительно обеспечило и стимулировало развитие подземных пространств. Подземные пространства как новая составляющая городского развития становились всё более признанными и принимаемыми [22]. К 2014 году Китай стал одной из ведущих мировых держав в области освоения городских подземных пространств [23].

Продолжая тенденции предыдущего этапа и отвечая на масштабное развитие подземных пространств в данный период, предварительные исследования интегрировали оценку освоения с оценкой ресурсов, включая исследования особенностей и ограничивающих факторов эксплуатации [24], оценку потенциала освоения [25] и оценку пригодности к эксплуатации [26].

На уровне управления и реализации: на основе «Закона о вещных правах» и иных нормативных актов, основное внимание было уделено обсуждению атрибутов и прав собственности на подземные пространства [27], сочетанию подземных прав и объёмного использования земель [28], анализу хода правового обеспечения городских подземных пространств и прогнозированию будущих тенденций [29], а также призывам к ускорению законодательства и повышению устойчивости городов [30]. На основе правовых исследований были предложены системы комплексного управления освоением подземных пространств [31] и направления реформы системы управления [32].

На уровне пространственного планирования, в условиях строительного бума, возникла острая потребность в руководстве на основе планирования, и исследования расцвели разнообразием.

Формирование системы планирования. На основе работ по построению системы планирования и стратегий реализации [33–34] постепенно сформировалась трёхуровневая система: во-первых, предложены концептуальные изменения, сопряжение систем, приоритеты и основные элементы планирования подземных пространств в генеральном плане [35]; во-вторых, уделено внимание интегрированному развитию подземных пространств и других специализированных

планирований, особенно гражданской обороны [36], что реализовало «объединение двух планов» с расширением до «объединения множества планов»; в-третьих, в условиях бума освоения сосредоточено внимание на контроле застройки подземных пространств [37], с конкретными примерами в ключевых районах, таких как первая фаза ядра делового района Хунцяо в Шанхае [38], центральный район Баоань в Шэньчжэне [39] и центральный остров Мауань в Сямыне [40].

Пространственная координация планирования. Планирование подземных пространств не может ограничиваться изолированным подходом к подземной среде. Теории множественного сопряжения подземных и наземных пространств [41] и методы интегрированного проектирования «поверхность-подземелье» [42] стали эффективными стратегиями развития подземных пространств, позволяя, в частности, компенсировать и координировать работу по защите историко-культурных районов и городскому обновлению [43-44]. Наряду со скоординированным освоением наземных и подземных пространств необходимо добиваться унификации подземных пространств с различными специализированными планированиями, совершенствовать механизмы управления и правовое обеспечение, создавать информационные платформы и формулировать национальные стратегии развития подземных пространств [5].

Повышение технических возможностей планирования. Передовые технологии планирования постепенно распространялись от наземного пространства к подземному: предприняты попытки применения BIM в освоении подземных пространств [45], наряду с созданием информационных платформ — стандартизация данных подземных пространств [46] и разработка трёхмерных вспомогательных систем планирования [47]. По мере постепенного созревания систем планирования, пространственной координации и технических средств, на данном этапе сформировалось несколько магистральных направлений исследований.

Направление городского рельсового транспорта. Районы станций городского рельсового транспорта являются передовым краем освоения подземных пространств и центром исследований. На основе оценки уровня комплексного освоения подземных пространств вокруг станций метрополитена [48], исследовались модели планирования, обусловленные развитием рельсового транспорта, включая модели на основе концепции TOD [49], модели унифицированного планирования подземных станций и подземных пространств [50], совместное использование систем коммунальных галерей и метрополитена [51], а также контроль освоения подземных пространств вдоль линий метро [52].

Инновации в экологической энергоэффективности. Всемирная выставка 2010 года в Шанхае способствовала инновациям в концепциях планирования подземных пространств. При строительстве Оси выставки и подземного комплекса были максимально использованы ресурсы территории и обеспечена экономия энергии [53], воплощены особенности зелёной экологии и низкоуглеродной энергоэффективности [54]. Широко применялись передовые средства: «долины света» и озеленённые склоны вводили естественный свет и зелень в подземные уровни [55], многочисленные функции парка были органично, системно и упорядоченно перенесены под землю [54], что повысило эффективность использования земель и качество пространственной среды.

Обеспечение пространственной безопасности. В связи с быстрым развитием освоения

подземных пространств и концентрацией потоков населения вопросы безопасности приобрели всё большую значимость [56]: с одной стороны, необходимо совершенствовать меры и стратегии защиты подземных пространств от наводнений [57], обеспечивать научную надёжность противопожарного проектирования, особенно в крупных подземных пространствах [58]; с другой стороны, подземные пространства могут использоваться для комплексной профилактики городских катастроф [59], то есть для укрепления внутренней безопасности городов и совершенствования системы пространственной профилактики [60].

3.2.3С 2019 г.: этап высококачественного развития

В 2019 году «Мнение ЦК КПК и Государственного совета о создании системы территориального пространственного планирования и её контроле за реализацией» предусмотрело включение планирования подземных пространств в систему территориального пространственного планирования. В том же году были обнародованы и введены в действие «Нормативы планирования городских подземных пространств», регламентирующие составление планов. Впоследствии был принят ряд политических документов, включая «Руководство Министерства природных ресурсов по исследованию и продвижению освоения городских подземных пространств», которые сыграли важную направляющую роль в научном развитии подземных пространств. В условиях перехода городского развития от экстенсивного расширения к интенсивному потенцированию, а затем от количественного роста к качественному улучшению, подземные пространства под руководством высококачественного городского развития и с целью воплощения стремлений народа к лучшей жизни стали важным полюсом городского роста [61].

Как предвестник высококачественного развития, предварительная оценка подземных пространств расширилась в направлении комплексного и трёхмерного подхода: предложена система обследования и комплексной оценки ресурсов подземных пространств [62], интегрированы трёхмерные геологические модели и методы трёхмерного пространственного анализа [63], осуществлена автоматическая интеграция трёхмерных геологических моделей и моделей подземных сооружений, проведено трёхмерное моделирование для оценки ресурсов подземных пространств [64], внедрённое в конкретную практику. Шанхай, Шэньчжэнь, Ханчжоу, Нанкин и другие города учредили «трёхмерный кадастр», проведены исследования проблем, с которыми сталкивается освоение подземных пространств в городах с особой геологией [65].

На уровне управления внимание переключилось на инвестиционную отдачу и операционное управление, сочетающие научность и практичность. Освоение подземных пространств требует комплексного управления, скоординированного планирования, инноваций в моделях финансирования и доходности [66], укрепления операционного управления городскими подземными пространствами [67], совершенствования технической системы управления, создания полноценных административных органов, 健全 (совершенствования) нормативно-правовой базы городских подземных пространств [68], ускорения формирования системы управления подземными пространствами [69].

На уровне пространственного планирования исследуется, как совершенствовать составление планов городских подземных пространств и включить их в систему

территориального пространственного планирования [70]. На основе анализа текущего состояния и результатов реализации планов далее совершенствуются теории и методы планирования [71], продвигаются концепции «четвёртой территории» и «подземной красной линии» [72]. С другой стороны, всё большее внимание привлекает городское обновление [70]: «Руководящие указания по планированию и земельной политике в поддержку городского обновления (редакция 2023 г.)» поощряют полноценное использование подземных пространств при соблюдении нормативных требований, укрепление скоординированного строительства и комплексного использования наземных и подземных пространств, повышение уровня экономного и интенсивного использования земель. Инновации в подземных пространствах сосредоточены на городском обновлении и прецизионном управлении [73]. Перед лицом хронологической последовательности «сначала наземная, затем подземная» в зонах обновления необходимо разрабатывать совершенно новые стратегии планирования [74], продвигая высококачественное освоение и устойчивое использование городских подземных пространств в Китае [75], с акцентом на четыре направления:

Человекоориентированное подземное пространство. В связи с недостаточным использованием подземных пространств в ряде городов, низким уровнем комфорта посетителей, кратковременностью пребывания и однообразием подземных коммерческих форм [76], предложены тенденции к экологизации и гуманизации внутренней среды подземных пространств [77], с целью дальнейшего повышения требований к эстетической выразительности и комфорту в освоении подземных пространств [78].

Зелёное подземное пространство. Освоение городских подземных пространств является важной мерой смягчения «городских болезней» и достижения устойчивого развития [79]. Необходимо 划定 трёхмерные экологические красные линии подземных пространств и провести оценку потенциала ресурсов подземных пространств [80], сосредоточив внимание на экономии земель, использовании геотермальной энергии, водосбережении и зелёной городской инфраструктуре, содействуя развитию зелёного строительства и зелёных городов посредством подземных пространств [81].

Интеллектуальное подземное пространство. В связи с созданием «трёхмерного кадастра» проводятся работы по инвентаризации и информатизационному управлению городскими подземными пространствами [82]. Опираясь на блочные данные и периферийные вычисления (edge computing), охватывая все городские элементы и пространства, развёртываются объекты сбора, передачи и обработки данных, покрывающие интеллектуальные сценарии наземного и подземного пространства [83]. Совершенствуются платформы обмена информацией и стимулируется научно-техническое инновирование [67], ускоряется формирование интеллектуальной системы управления подземными пространствами и заблаговременное стратегическое планирование научно-технического развития подземных пространств [75].

Устойчивое подземное пространство. От пространственной безопасности — к повышению устойчивости. Перед лицом проблем безопасности при строительстве, эксплуатации и управлении подземными пространствами необходима многомерная профилактика — на уровне управления, технологий, надзора и законодательства [68]. Разрабатываются стратегии и меры предотвращения катастроф с целью «строительства

устойчивых городов» [84], формируется комплексная рамка устойчивой профилактики для подземных пространств [85]. Особенно в городских районах с высокой плотностью, где уязвимость значительно выражена, необходимо в полной мере использовать характеристики объёмных пространств, в частности подземных пространств, для повышения устойчивости городов [86].

4 Выводы и перспективы

4.1 Выводы исследования

Общий статистический анализ и анализ тенденций ключевых тем показывают, что исследования по планированию городских подземных пространств в Китае достигли зрелости, а их предварительная комплексная оценка и последующее управленческое обеспечение развиваются во взаимодействии. Этап разведочного развития (до 2007 г.) стал начальной стадией, сосредоточенной на фундаментальных исследованиях и накоплении практического опыта. Этап быстрого роста (2008–2018 гг.), под влиянием полномасштабной урбанизации и крупных событий, ввёл исследования в фазу расцвета: наряду с продвижением методологии построения систем, пространственной координации и технического совершенствования, внимание было сосредоточено на городском рельсовом транспорте, экологической энергоэффективности и обеспечении безопасности, что обеспечило переход от базовых исследований к комплексным. Этап высококачественного развития (с 2019 г.) в контексте формирования системы территориального пространственного планирования ознаменовал вступление в новый этап повышения качества и эффективности: во-первых, исследуется, как включить планирование подземных пространств в систему территориального пространственного планирования и обеспечить городское обновление; во-вторых, осваивается человекоориентированное, зелёное, интеллектуальное и устойчивое планирование подземных пространств, делающее планирование более всесторонним, научным и практичным.

4.2 Перспективы

С созданием системы территориального пространственного планирования и установлением границ городского развития города вступают в новый этап, где доминирует обновление существующих территорий. В сочетании с выявленными тенденциями, планирование городских подземных пространств, а также предварительная комплексная оценка и последующее управленческое обеспечение претерпят следующие изменения.

Комплексная оценка подземных пространств станет составной частью «городской медицинской проверки». Помимо исследований природных и экологических факторов, большее внимание будет уделяться строительным и гуманитарным элементам подземной среды в зонах обновления, а также наземным застроенным пространствам. Необходимо будет анализировать, как освоение подземных пространств может избежать негативного воздействия на смежные подземные и верхние пространства, что требует более точной пространственной информации и оценки пригодности к освоению. Одновременно проведение «медицинской проверки» существующих подземных пространств и их обновление позволят активизировать имеющиеся ресурсы, удовлетворяя потребности городов, особенно зон обновления.

В управленческом обеспечении большее внимание будет уделяться функциональному наполнению и комплексной отдаче подземных пространств. Городское обновление

станет главным направлением. «Руководящие указания по составлению планов городского обновления» требуют определения требований к управлению на различных масштабах, органичного включения в процесс специализированного планирования обновления, планирования районов и реализации проектов, а также включения финансовых расчётов и операционных моделей в проекты реализации. Стоимость строительства подземных пространств высока, особенно в зонах городского обновления, где необходимо учитывать безопасность соседних и верхних пространств, что требует ещё более тщательного изучения окупаемости инвестиций и перспективного управления.

В этом контексте, перед лицом более практичных требований к управлению подземными пространствами, на основе более совершенных методов комплексной оценки и всесторонне улучшенных строительных технологий, прогнозируются следующие тенденции развития планирования городских подземных пространств.

Комплексность. Подземные пространства на всех уровнях планирования уже включены в систему территориального пространственного планирования. Необходимо в полном объёме перенести на подземную среду требования контроля, которые до настоящего времени были ориентированы на наземное пространство. Опираясь на «трёхмерный кадастр» и комплексную оценку, в рамках координации наземного и подземного пространств и согласования крупных специализированных систем, в условиях углубления подземных пространств следует уделять внимание координации между глубокими и мелкими подземными пространствами. Интеграция временного фактора позволит рассматривать хронологию обновления и освоения подземных пространств, формируя специфическую систему пространственных показателей и модель планирования, создавая «единую карту», объединяющую наземное пространство, подземное пространство, различные подземные уровни, крупные системы и их хронологию развития.

Встраивание. На основе комплексной оценки в рамках «городской медицинской проверки» будут изучены потребности городов, особенно зон обновления, в подземных пространствах. В сочетании с определением прав на освоение подземных пространств по «Закону о вещных правах» и зрелыми методами оценки пригодности подземных пространств к строительству, адаптированный к местным условиям и поступательный подход позволит встроить в городскую ткань — прежде всего в зонах обновления — функции, трудно реализуемые на поверхности: транспорт, логистику, муниципальную инфраструктуру, гражданскую оборону, — чтобы смягчить дефицит наземного пространства и высвободить больше территории для общественных мероприятий и озеленения. Одновременно будет учитываться влияние встроенных подземных пространств на подземную среду и пространственную среду в целом, обеспечивая синергию освоения и защиты в интересах создания человекоориентированных и зелёных городов.

Совместное использование. Планирование подземных пространств должно исследовать пространственное совместное использование различных функций для снижения затрат, повышения активности и увеличения отдачи. На этой основе будут проводиться исследования по стимулированию совместного строительства и использования подземных сооружений соседними земельными участками или различными субъектами, формируя взаимосвязанную сеть городских подземных

пространств, которая повысит устойчивость городов и распространит активность и отдачу на весь город. Совершенствование межведомственной системы управления подземными пространствами и платформ обмена информацией, укрепление нормативно-правовой базы использования подземных пространств, эффективное использование больших данных подземных пространств и устранение информационных изоляторов [5] позволят решить проблемы информационной асимметрии и всесторонне повысить уровень точности и интеллектуальности планирования, строительства и управления подземными пространствами.

Таким образом, перед лицом будущих ограничений и возможностей пространственного обеспечения, потребностей развития и комплексной отдачи, модели комплексного, встраиваемого и совместного планирования подземных пространств будут способствовать достижению диверсифицированной и интегрированной, интенсивной и эффективной, практичной и реализуемой, зелёной и устойчивой цели развития планирования подземных пространств, служа интересам комплексного планирования объёмного территориального пространства.

Список литературы

- [1] PENG Jianbing, ZHU Hehua, LI Xiaozhao. Китайские решения для городских подземных пространств в новую эпоху [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 1-2.
- [2] PENG Fangle, QIAO Yongkang, DONG Yunhao, et al. Исследование стратегии развития освоения городских подземных пространств на новом этапе развития [J]. *Strategic Study of CAE*, 2024, 26(3): 176-185.
- [3] WEI Lingxiang, GUO Dongjun, WU Yanhua, et al. Ключевые темы и тенденции реагирования подземных пространств Китая на цели «двойного углерода» [J/OL]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*. [2025-07-21]. <https://link.cnki.net/urlid/50.1169.TU.20250221.1018.004>.
- [4] SHU Yu, PENG Fangle, WANG Xuan, et al. Исследования и практика планирования городских подземных пространств в Китае [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2006(Доп. 1): 1125-1129.
- [5] ZHU Hehua, LUO Xiao, PENG Fangle, et al. Исследование стратегии развития планирования городских подземных пространств в Китае [J]. *Strategic Study of CAE*, 2017, 19(6): 12-17.
- [6] Государственный комитет по планированию развития. Уведомление о публикации специального плана развития комплексной транспортной системы в рамках 10-й пятилетки [EB/OL]. [2025-02-21]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61816.htm.
- [7] Министерство строительства, Государственный комитет развития и реформ, Министерство науки и технологий и др. Мнение о приоритете развития городского общественного транспорта [EB/OL]. (2005-10-19) [2025-02-21]. https://www.gov.cn/zwgk/2005-10/19/content_79810.htm.
- [8] XU Yongjian, YAN Xiaopei. Успешный пример использования городских подземных пространств: планирование и строительство подземного города Монреаля [J]. *Urban Problems*, 2000(6): 56-58.
- [9] WANG Jianhong, LIU Xinrong. Обзор освоения и использования подземных пространств в городах Японии [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*,

2006(3): 349-353.

[10] BESNER J. Генеральный план или метод управления? Пример освоения подземных пространств Монреаля [J]. *International Urban Planning Review*, 2007(6): 16-20.

[11] WU Lixin, JIANG Yun, LIANG Yue, et al. Фундаментальные исследования оценки потенциала освоения городских подземных пространств [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004(4): 44-47.

[12] JIANG Yun, WU Lixin, DU Liqun. Исследование системы показателей оценки потенциала освоения городских подземных пространств [J]. *Urban Development Studies*, 2005(5): 47-51.

[13] WU Lixin, JIANG Yun, CHE Defu, et al. Нечёткая комплексная оценка и трёхмерная визуализация качества ресурсов городских подземных пространств [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2007(1): 97-102.

[14] LIU Chunyan, SHEN Yanhong. Исследование правового обеспечения освоения подземных пространств в Японии [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2007(4): 587-591.

[15] ZHAO Penglin, GU Xin. Исследование законодательства по использованию подземных пространств: на примере Шэньчжэня [J]. *Urban Planning*, 2002(9): 21-24.

[16] TONG Linxu. Новый этап развития городских подземных пространств в Китае [J]. *Urban Development Studies*, 2002(1): 18-21.

[17] KONG Lingxi, SHEN Rongfang. Оценка устойчивости развития городских подземных пространств [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2007(1): 119-122.

[18] HOU Xueyuan, LIU Kun. Теория и применение современного планирования городских подземных пространств [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2005(1): 7-10.

[19] CHEN Zhilong, YANG Yanjun, YANG Hongyu. Концептуальное планирование подземных пространств ядра нового района Цяньцзян в Ханчжоу [J]. *Urban Planning*, 2003(10): 89-91.

[20] TANG Yuqing, ZHOU Bingyu. Контроль планирования подземных пространств в центральных районах крупных городов Китая: на примере делового района Хуандао в Циндао [J]. *Urban Planning Forum*, 2006(5): 89-94.

[21] YU Mingjian, GUO Dongjun. Освоение подземных пространств и городской транспорт: подземная сетчатая система в ядре центрального делового района Шанхая [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2006(Доп. 1): 1227-1230.

[22] YUAN Hong, ZHAO Shichen, DAI Zhizhong. Пространственные атрибуты и сущностное значение подземных пространств как городского пространства [J]. *Urban Planning Forum*, 2013(1): 85-89.

[23] Отделение подземных пространств Китайского общества механики горных пород и инженерии, Исследовательский центр подземных пространств Политехнического университета НОАК, Nanjing Huilong Urban Planning and Design Co., Ltd. Белая книга по развитию городских подземных пространств в Китае: 2014 [М]. Шанхай: Издательство Университета Тунцзи, 2015.

[24] LIU Guilu, YANG Lang. preliminary исследование особенностей и ограничивающих факторов освоения городских подземных пространств [J]. *Urban Planning Forum*, 2010(Доп. 1): 106-110.

[25] WANG Xia, HUANG Xianjin, ZHEN Feng, et al. Многоуровневая серая оценка

потенциала освоения ресурсов городских подземных пространств [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2009, 37(8): 1122-1127.

[26] LIU Kun, PENG Jian, PENG Fangle. Модель оценки пригодности освоения ресурсов подземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(2): 219-231.

[27] ZHAO Kuitao, HU Ke, JIA Xiaoqing. Дискуссия об атрибутах и правах собственности на городские подземные пространства [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2008(2): 222-225.

[28] MA Xusheng. Права на городские подземные пространства и их конструктивирование в рамках вещного права [J]. Studies in Law and Business, 2010, 27(3): 85-92.

[29] SHU Yu, LU Shan, ZHU Liming, et al. Ход и перспективы правового обеспечения городских подземных пространств в Китае [J]. Modern Urban Research, 2009, 24(8): 7-18.

[30] LIN Jian, HUANG Fei, ZHAO Shuoshuo. Ускорение законодательства по использованию подземных пространств для повышения устойчивости городов [J]. Urban Planning, 2015, 39(3): 24-28.

[31] CHEN Xiaoqiang, QIAN Qihu. Исследование комплексного управления городскими подземными пространствами в Китае [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(4): 666-671.

[32] ZHENG Huaide. Исследование реформы системы управления освоением городских подземных пространств в Китае [J]. Planners, 2012, 28(3): 69-73.

[33] HE Lei, DAI Shenzhi, SHU Yu. Дискуссия по отдельным вопросам составления планов городских подземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(5): 825-829.

[34] ZHU Zhaoli. Исследование планирования и развития подземных пространств крупных городов в новую эпоху: на примере Чанчжоу [J]. Urban Planning Forum, 2016(5): 112-118.

[35] YU Wenque, GU Xin. Исследование концепции и путей реализации объёмного городского планирования: исследование проблем планирования подземных пространств в рамках реформы и инновации генерального плана города [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(1): 1-9.

[36] WEI Lihua, TANG Jun. Исследование интегрированного развития городских подземных пространств и сооружений гражданской обороны [J]. Planners, 2016, 32(5): 54-58.

[37] ZHANG An, YAN Gang, XIE Ruixin, et al. Предварительное исследование контроля освоения подземных пространств в системе регулятивного планирования [J]. Urban Planning, 2009(2): 20-24.

[38] PENG Fangle, ZHAO Jingwei, LIU Kun, et al. Дискуссия о контроле освоения подземных пространств CBD на уровне регулятивного планирования: на примере первой фазы ядра делового района Хунцяо в Шанхае [J]. Urban Planning Forum, 2013(1): 78-84.

[39] YAO Wenqi. Исследование методов планирования подземных пространств в центральных районах городов: на примере центрального района Баоань в Шэньчжэне [J]. Urban Planning Forum, 2010(Доп. 1): 36-43.

[40] WEI Xi. Размышления о составлении детального плана контроля подземных

пространств центрального острова Малуань в Сямыне [J]. Urban Planning Forum, 2018(Доп. 1): 115-119.

[41] SHAO Jizhong, HU Zhenyu. Исследование теории множественного сопряжения городских подземных и наземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(6): 1431-1443.

[42] LU Jiwei, CHEN Yong. Интегрированное проектирование «поверхность-подземелье»: стратегия эффективного развития подземных пространств [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2012, 46(1): 1-6.

[43] ZHANG Lin, SHU Yu, LU Shan. Исследование теорий и ключевых технологий планирования освоения подземных пространств в историко-культурных районах городов [J]. Urban Development Studies, 2014, 21(7): 79-83.

[44] XU Xinqiao. Планирование и практика освоения ресурсов подземных пространств в районах городского обновления: на примере района Хуацяньбэй в Шэньчжэне [J]. Urban Planning Forum, 2010(Доп. 1): 30-35.

[45] SU Xiaochao, CAI Hao, GUO Dongjun, et al. Применение технологии BIM в освоении городских подземных пространств [J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 15(3): 219-224.

[46] LI Xiaojun, LIU Yupeng, WANG Yu. Состояние и тенденции стандартизации данных городских подземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(2): 287-294.

[47] LOU Shurong, LI Wei, QIN Wenjing. Исследование интеграции трёхмерных ГИС для планирования городских подземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2018, 14(1): 6-11.

[48] WANG Jiangbo, GAO Mingchao, GOU Aiping. Метод оценки уровня комплексного освоения подземных пространств вокруг станций метро типа общественного центра: на примере Даляня [J]. Modern Urban Research, 2017(6): 92-100.

[49] ZHU Liangcheng, LU Shan, SHU Yu. Исследование моделей планирования городских подземных пространств на основе концепции TOD [J]. Urban and Rural Planning, 2011(2): 75-82.

[50] HAO Jun. Дискуссия о модели единого планирования подземных станций и подземных пространств в городском рельсовом транспорте [J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(2): 9-13.

[51] LIU Yingming, CHEN Yonghai, PENG Jian. Дискуссия о ключевых технических проблемах в планировании систем коммунальных галерей: на примере Шэньчжэня [J]. Urban Planning Forum, 2010(Доп. 1): 101-105.

[52] WANG Yang, ZHAO Jingwei, PENG Fangle. Исследование элементов контроля освоения подземных пространств вдоль линий метро [J]. Planners, 2014, 30(9): 70-75.

[53] OUYANG Tianzhi, HUANG Qiuping. Ось выставки и подземный комплекс Всемирной выставки 2010 года в Шанхае [J]. Architectural Journal, 2009(6): 7-9.

[54] SHU Yu, ZHU Liming, LU Shan. Особенности и уроки освоения подземных пространств парка Всемирной выставки в Шанхае [J]. Shanghai Urban Planning, 2010(2): 9-13.

[55] HAN Yingzi. Планирование и практика подземных пространств парка Всемирной выставки в Шанхае [J]. Shanghai Urban Planning, 2010(2): 3-8.

[56] PENG Jian, LIU Kun, YAN Zhiguo, et al. Дискуссия о проблемах безопасности и

стратегиях управления подземными пространствами [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(1): 1-7.

[57] PU Weiqing. Исследование защиты от наводнений и стратегий для городских подземных пространств [J]. Waterway Engineering, 2008(10): 223-228.

[58] SUN Lijun, HONG Wei, GUO Yihui. Дискуссия о противопожарном проектировании крупных подземных пространств: на примере подземных сооружений ядра Чжунцзян-Ньютаун в Гуанчжоу [J]. Architectural Journal, 2009(3): 74-76.

[59] CHEN Zhilong, CHEN Jiayun, GUO Dongjun, et al. Новые достижения и размышления об использовании подземных пространств и исследованиях по предотвращению городских катастроф [J]. Strategic Study of CAE, 2013, 15(5): 65-70.

[60] CHEN Zhuo, SHE Lian. Исследование уязвимости безопасного развития городов: с точки зрения комплексного использования подземных пространств [J]. Journal of HUST (Social Science Edition), 2009, 23(1): 109-112.

[61] Центр стратегических консультаций Китайской академии инженерии и др. Синяя книга по развитию городских подземных пространств в Китае [EB/OL]. (2024) [2024-12-04]. https://www.planning.org.cn/law/view_news?id=16315.

[62] GE Weiya, WANG Rui, ZHANG Qing, et al. Концепция комплексной оценки многоцелевого использования ресурсов городских подземных пространств [J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(10): 1601-1608.

[63] XING Huaixue, DOU Fanfan, GE Weiya, et al. Исследование трёхмерной системы показателей геологической пригодности к освоению городских подземных пространств: на примере Ханчжоу [J]. Geological Review, 2022, 68(2): 607-614.

[64] XUE Tao, SHI Yujin, ZHU Xiaodi, et al. Исследование и практика трёхмерного моделирования для оценки ресурсов городских подземных пространств: на примере Шанхая [J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(4): 373-382.

[65] HUANG Qiangbing, PENG Jianbing, WANG Feiyong, et al. Проблемы и вызовы освоения подземных пространств в городах с особой геологией [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 85-94.

[66] YOU Xinhua, HE Guangyao, WANG Qiangxun, et al. Состояние и тенденции использования городских подземных пространств в Китае [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(2): 173-188.

[67] YANG Xiaogang, WANG Rui, HUANG Weiliang. Анализ состояния и проблем освоения подземных пространств на основе сопоставления типовых городов Китая [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 69-75.

[68] YI Rong, JIA Kaiguo. Дискуссия о проблемах безопасности городских подземных пространств в Китае [J]. Geology and Exploration, 2020, 56(5): 1072-1079.

[69] ZENG Guohua, TANG Zhili. Содержание, пути и рекомендации по интегрированному развитию городских подземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2022, 18(3): 701-713.

[70] WU Zhiqiang, YAN Juan, XU Haowen, et al. Десять ключевых годовых тем развития дисциплины градостроительства (2024–2025) [J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 8-11.

[71] PENG Fangle, QIAO Yongkang, CHENG Guanghua, et al. Состояние, проблемы и меры по совершенствованию планирования городских подземных пространств в Китае [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 57-68.

[72] LEI Shengxiang, SHEN Yanjun, XIAO Qinghua, et al. Состояние и будущие концепции

освоения городских подземных пространств [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(4): 965-979.

[73] LIU Yi, ZHU Liangcheng. Состояние и перспективы развития городских подземных пространств Шанхая [J]. Tunnel Construction, 2020, 40(7): 941-952.

[74] TANG Yuqing, WANG Mengwen, WU Xinzhen, et al. Стратегии планирования и модели размещения подземных пространств для органического обновления старых городских районов [J]. Planners, 2022, 38(2): 134-139.

[75] WANG Chengshan, ZHOU Chenghu, PENG Jianbing, et al. О высококачественном освоении и устойчивом использовании городских подземных пространств Китая в новую эпоху [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 1-8.

[76] YU Yuanhang, YAN Bo. Состояние и тенденции освоения подземных пространств в мегаполисах Китая [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(Доп. 1): 1-7.

[77] CHENG Guanghua, WANG Rui, ZHAO Muhua, et al. Состояние и тенденции освоения городских подземных пространств в Китае [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 39-47.

[78] SUN Jun. Развитие и проблемы освоения ресурсов городских подземных пространств в Китае и за рубежом [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(5): 699-709.

[79] ZHANG Bin, XU Nengxiong, DAI Chunsen. Состояние, тенденции и международный опыт освоения городских подземных пространств [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 48-56.

[80] SHI Xiaodong, ZHAO Yiting, WU Kejie. Исследование методов научного планирования подземных пространств мегаполисов в эпоху экологической цивилизации: на примере планирования подземных пространств Пекина [J]. Tunnel Construction, 2020, 40(5): 611-620.

[81] QIAN Qihu. Использование подземных пространств для содействия развитию зелёного строительства и зелёных городов [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(11): 1737-1747.

[82] YANG Huayong, JIANG Yuan, LI Zhe, et al. Исследование стратегии развития комплексного управления освоением подземных пространств [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 126-136.

[83] LIU Xiaoqing, HE Rui. Планирование новой городской информационной инфраструктуры: практика и исследования Сюньаня [J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 112-118.

[84] DAI Shenzhi, FENG Hao, HE Lei, et al. Исследование модели составления плана предотвращения катастроф при пересмотре генеральных планов крупных городов Китая: на примере Уханя [J]. Urban Planning Forum, 2019(1): 91-98.

[85] QIU Tong, CHEN Xiangsheng, SU Dong. Комплексная рамка устойчивой профилактики и борьбы с пандемиями в городских подземных пространствах [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2021, 61(2): 117-127.

[86] ZHAO Ziwei, YUAN Yuan, GUO Dongjun, et al. Оценка составной доступности сетей городских подземных пространств на основе предотвращения катастроф [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(1): 1-8.