

Создание системы планирования реагирования на риски стихийных бедствий

LIU Dong, SHAO Long, WANG Xin, LI Denghui, ZHANG Yixuan, LIU Chang, PENG Jianbing

Аннотация: Глобальное изменение климата и быстрая урбанизация усилили сложные и каскадные характеристики стихийных бедствий, что делает необходимым переход от преобладающего в технике статического предотвращения к территориальному управлению полного цикла. Основанная на теории сложных систем и теории производства пространства, эта статья деконструирует пространственные атрибуты рисков стихийных бедствий через структуру материального обеспечения, сетевой организации и динамического реагирования и раскрывает механизм обратной связи системы человек-земля-катастрофа. На этой основе предлагается шесть систем планирования. Предотвращение стихийных бедствий на местах обеспечивает изоляцию от рисков с помощью жесткого и гибкого контроля; структурное планирование до стихийных бедствий укрепляет устойчивость системы посредством оптимизации сети; уменьшение опасности бедствий с помощью контроля мощности снижает воздействие через пороги интенсивности развития; стратегическое резервирование в открытом пространстве создает эластичные буферы через запланированные резервы; смягчение последствий стихийных бедствий на основе подключения обеспечивает функциональную преемственность через резервирование жизненного цикла; и интеллектуальное управление стихийными бедствиями использует цифровых двойников для улучшения точного предотвращения и контроля. Исследование формирует технический путь, глубоко интегрированный с территориальным пространственным планированием и обеспечивает теоретическую поддержку устойчивого городского строительства и модернизации пространственного управления.

Ключевые слова: геологические катастрофы; пространственные атрибуты; планирование реагирования; состав системы; пространственное управление

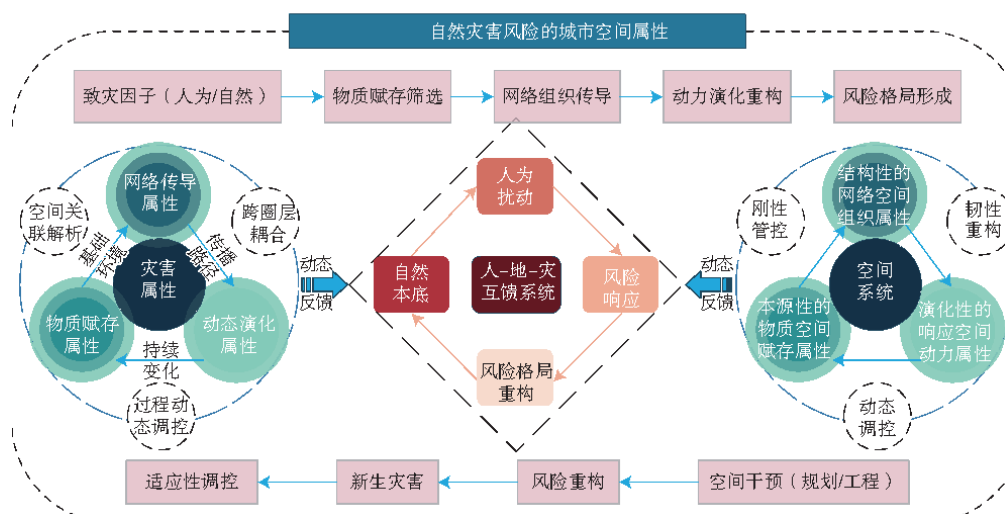
Глубокая связь глобального изменения климата и быстрой урбанизации сделала риски стихийных бедствий, с которыми сталкиваются города, более сложными, чем когда-либо. Городское строительство по существу является систематическим вмешательством в геологическую среду. В частности, в Китае высокоинтенсивная инженерная деятельность глубоко изменила региональные геострессовые поля и гидрогеологические условия, в результате чего ранее стабильные геологические системы показали сложные эффекты, такие как связь нестабильности склона и оседания земли, каскадных цепей бедствий и чувствительного пространственно-временного расширения [1-4].

С учетом этой новой модели риска ограничения, связанные с традиционным предотвращением и уменьшением опасности бедствий, становятся все более очевидными. Во-первых, статическая профилактика под руководством инженеров плохо подходит для динамично развивающихся рисков, поскольку стандарты объектов, полученные на основе исторических данных, часто отстают от экстремальных изменений климата [5-7]. Во-вторых, секторально фрагментированное управление борется с каскадными бедствиями. Вторичные пожары, вызванные землетрясениями и утечкой трубопроводов, часто превышают границу одного участка, что приводит к возникновению суперпозитивных рисков [1]. Что еще более важно, пространственное мышление по-прежнему недостаточно используется для предотвращения и уменьшения опасности стихийных бедствий, что отключает оценку рисков от городского планирования и строительства [6]. Поэтому необходимо уточнить планирование как основной инструмент для противостояния беспорядочным силам и обеспечения безопасного пространства, а также выйти за пределы зависимости от обороны от одной опасности, местной инженерии и реагирования на чрезвычайные ситуации.

Глобальное мышление по предотвращению стихийных бедствий претерпевает системную трансформацию. Структура уязвимости в отношении факторов риска, вызывающих стихийные бедствия, стала международным консенсусом. Хотя соответствующие исследования в Китае начались относительно поздно, в последние годы они быстро расширились: теоретически устойчивое городское мышление было интегрировано со сложными системами и пространственным синтаксисом [8-9]; в политике 14-й пятилетний национальный план по предотвращению и сокращению стихийных бедствий требует более сильной территориальной пространственной устойчивости; и технически большие данные и искусственный интеллект связаны с системами предотвращения стихийных бедствий [10-13]. Существующие исследования оставляют пробелы. Многие фокусируются на самой катастрофе или на одной технологии, пренебрегая интерактивной ролью городского пространства как носителя стихийных бедствий, усилителя риска и средства предотвращения. Цель обеспечения безопасности и устойчивости также не была глубоко включена в систему территориально-пространственного планирования. Центральная городская рабочая конференция 2025 года подчеркнула важность ускорения устойчивого городского строительства и совершенствования системы предотвращения городской безопасности. Это создает настоятельную необходимость в систематической теоретической структуре, которая объединяет несколько опасностей и охватывает весь процесс предотвращения и контроля. Соответственно, в этом документе деконструируется сложное взаимодействие между рисками стихийных бедствий и городскими пространственными системами, раскрывается взаимосвязь между естественным субстратом, пространственной организацией и планированием реагирования, а затем предлагается шестимерная система городского планирования для реагирования на риски стихийных бедствий: предотвращение стихийных бедствий путем выбора площадки, структурное планирование до стихийных бедствий, сокращение масштабов стихийных бедствий, стратегическое резервирование открытого пространства, смягчение последствий стихийных бедствий на основе подключения и интеллектуальный контроль стихийных бедствий.

1 Городские пространственные характеристики рисков стихийных бедствий

Катастрофы — это, по сути, нелинейные взаимодействия между факторами, вызывающими опасность, и телами, подвергшимися воздействию в определенных пространствах. Во время глобальной урбанизации расширение строительных земель положительно связано с частыми стихийными бедствиями. Развитие в слабых зонах геологической структуры, оккупация пойм и интенсивное использование прибрежных поясов усиливают сейсмические реакции, гидрологический дисбаланс и ущерб от штормовых нагрузок соответственно. Поэтому деконструкция городских пространственных характеристик риска бедствий имеет важное значение для понимания механизмов формирования бедствий. С точки зрения географического расположения, иерархической связи и взаимодействия процессов, эта статья делит эти атрибуты на материальное пространственное обеспечение, сетевую пространственную организацию и адаптивную пространственную динамику (рис.1).



1 Городские пространственные характеристики рисков стихийных бедствий.

1.1 Оригинальные материально-пространственные атрибуты дарения

Атрибуты материального пространственного наделения происходят из энергетических материальных циклов земной системы и их пространственно-временной дифференциации. Они определяют макрораспределительный и интенсивный спектр рисков стихийных бедствий, таких как распределение зон разломов, метеорологические пути бедствий и модели речных систем. В условиях двойного нарушения изменения климата и интенсивной деятельности человека реконструкция геострессового поля и интерференция гидрологического цикла образуют нелинейный механизм обратной связи природного субстрата, антропогенного возмущения и реагирования на риск [4,14]. Поэтому риск бедствий следует понимать как пространственное выражение динамического взаимодействия между системами Земли и технологической цивилизацией, которое требует логики предотвращения-контроля, основанной на циркуляции энергоматериалов.

1.2 Структурные атрибуты сетевой пространственной организации

Атрибуты сетевой пространственной организации коренятся в топологии и системной зависимости построенной среды. Как носитель риска, эффекты взаимодействия плотности и взаимодействия городского пространства выталкивают современные цепочки бедствий за пределы одного масштаба, вызывая нелинейное усиление по путям строительства городов и регионов. Социальная пространственная организация еще больше углубляет этот атрибут. Пространственная дифференциация населения, экономической агломерации и потенциала управления создает уязвимую мозаику [15], создавая выборочные пути передачи риска. Трехмерная система координации устойчивости инфраструктуры, сети реагирования на социальное управление и экологические буферные барьеры необходимы для прерывания передачи рисков через СМИ.

1.3 Эволюционирующие чувствительные пространственно-динамические атрибуты

Отзывчивые пространственно-динамические атрибуты относятся к процессу динамической обратной связи между городским пространственным производством и природными системами. Быстрая урбанизация усилила региональное воздействие и перенесла старые риски, в то время как преобразование энергии или пространственно-временная задержка могут привести к передаче риска между поколениями. Более глубокое противоречие заключается во внешних проявлениях человеческой деятельности и дисбалансе распределения рисков. Следуя логике риск-пространства-технологии,

планирование должно использовать контроль отрицательного списка и цифровое моделирование для оптимизации структуры, а на основе глобального распределения рисков выстроить динамический механизм адаптации и адаптации к развитию.

В целом, пространственные характеристики риска бедствий являются составным продуктом естественных географических законов и пространственной практики человека. Материальное обеспечение обеспечивает физическую основу возникновения бедствий, сетевая организация определяет структурный путь передачи бедствий, а динамическая эволюция стимулирует непрерывную трансформацию моделей риска. Вместе они образуют пространственную основу для комплексной урбанизации рисков стихийных бедствий и направляют планирование от контейнерного мышления к процессуальному мышлению, ведя систему «человек-земля-катастрофа» к безопасности и балансу.

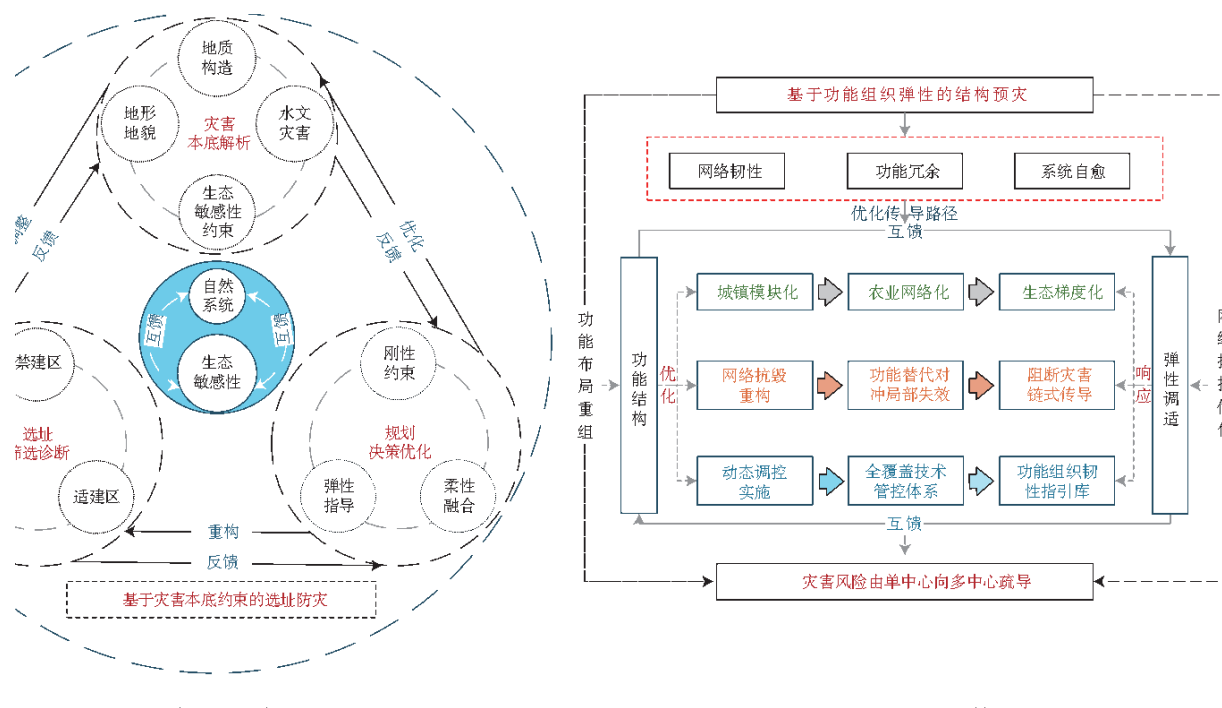
2 Состав системы планирования реагирования на риски стихийных бедствий

Основываясь на теории сложных систем и теории производства пространства, эта статья создает трехмерную структуру управления пространственно-процессным управлением, пространственно-элементным распределением и оптимизацией пространственной безопасности. Посредством производства и трансформации пространственных форм он реагирует на полную цепочку индукции опасности, обострения тела и эволюции уязвимости. Ядро этой модели заключается в уменьшении упорядоченной нагрузки и устойчивости восточной системы путем изменения отношений между человеком и землей в результате пространственной реконструкции. Предлагается шесть систем планирования.

2.1 Предотвращение стихийных бедствий путем выбора места на основе ограничений по субстратам стихийных бедствий

Предотвращение стихийных бедствий на местах является основой контроля за источниками для реагирования городского планирования на риски стихийных бедствий. Он идентифицирует и избегает ограничений на стихийные бедствия посредством скрининга сайта, формируя жесткую и гибкую структуру ограничения идентификации риска, ограничения субстрата и безопасного выбора сайта. Он включает чувствительные к стихийным бедствиям районы в городские пороги пространственного доступа и кадастры планирования (рис. Эта система коренится в диалектическом единстве физической географии и экологической цивилизации: она выявляет закономерности передачи энергии от стихийных бедствий посредством анализа экологии горных вод, проясняет, как региональная тектоника и гидрология формируют пространственную модель поверхности земли, и обеспечивает детерминированные естественные ограничения для городского пространства.

Технически, эта статья создает основу реализации анализа субстрата, скрининга сайта и градуированного контроля. На уровне анализа субстрата интегрированное наблюдение «небо-пространство-земля-глубокая» используется для интерпретации связи геоопасности-геоморфной среды обитания и чувствительности цепи бедствий. При скрининге объектов технологии многоисточниковых данных и оценки объединяются для создания региональной базы данных и создания многоуровневых данных о стихийных бедствиях на региональном, городском и местном уровнях. В градуированном контроле жесткие ограничения и гибкое руководство объединяются для интеграции ограничений на стихийные бедствия в утверждение и мониторинг проекта, образуя замкнутый цикл контроля отрицательного списка, оценки риска и динамической коррекции.



2 Состав системы планирования реагирования на стихийные бедствия.

2.2 Структурное планирование до стихийных бедствий на основе устойчивости функциональной организации

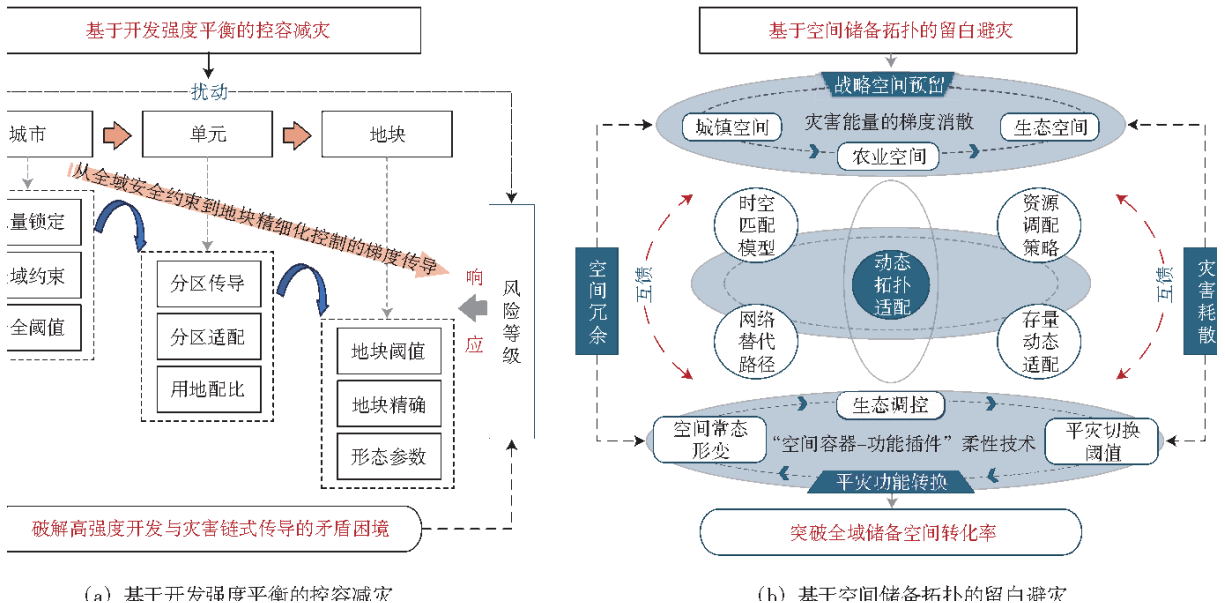
Структурное планирование до стихийных бедствий - это путь оптимизации пространственной структуры для реагирования на риски стихийных бедствий. Он улучшает топологию сети и функциональную компоновку, чтобы сформировать многоуровневую устойчивую структуру защиты сетевой устойчивости, функциональной избыточности и самовосстановления системы (рисунок 2b). Опираясь на теорию сложных адаптивных систем и теорию диссипативной структуры, он подчеркивает, что бедствия движутся вдоль масштаба и функциональных интерфейсов. Во-первых, для выявления механизмов функциональной реорганизации и сопряжения рисков используется соотношение функциональная структура-сеть-катастрофа [11,13]. Во-вторых, многоцентровые и групповые макеты распределяют риск бедствий и предотвращают функциональные сбои в отдельных центрах. Наконец, модульная оптимизация избыточности формируется в рамках пространственной организации, так что объекты, сельскохозяйственное пространство, экологические барьеры и аварийные узлы поддерживают эффективность обслуживания.

Технический путь структурного планирования до стихийных бедствий состоит из функциональной оптимизации, реконструкции сети и динамической настройки. Оптимизация функциональной единицы идентифицирует уязвимые точки и реконструирует функцию посредством пространственного синтаксиса и многоинтеллектуального моделирования тела. Реконструкция сети усиливает пространственную способность переносить перебои за счет повышения плотности структурной устойчивости и оптимизации избыточности ключевых узлов. Затем динамическая настройка использует платформу моделирования для проведения проекции сценария, установления порогов выносливости для ключевых функций и поддержки адаптивного реагирования на внезапную передачу бедствия.

2.3 Сокращение масштабов стихийных бедствий на основе баланса интенсивности развития

Сокращение масштабов стихийных бедствий с помощью контроля за потенциалом является механизмом управления градиентами для реагирования городского планирования на риски стихийных бедствий. Он устанавливает пространственно дифференцированные пороговые значения интенсивности развития путем координации связей между городскими единицами и наземными участками, превращая потенциал обеспечения безопасности в обязательный параметр интенсивности пространственного развития (рис.3а). Этот подход требует интеграции теории систем стихийных бедствий и управления потенциалом. В нем сначала идентифицируются многомасштабные характеристики стихийных бедствий и выясняется, как чрезмерная плотность городов и функциональный сбой на уровне единицы вызывают каскадное усиление риска. Затем он использует двойную оценку для установления пути преобразования из зон риска в сетки контроля интенсивности. Наконец, он закрепляет общий объем разработки и устанавливает пошаговую систему интенсивности ограничений общего домена, районной адаптации и точности посылок.

Для снижения пропускной способности в настоящем документе разрабатывается полноценная структура сопоставления пороговых точек и оптимизации морфологических параметров. В городском пороге безопасности данные о местности, экологии и истории стихийных бедствий используются для определения максимального потенциала регионального развития и предотвращения чрезмерного развития от нарушения несущего порога и возникновения системного каскадного сбоя. В пропорции единицы земли клеточные автоматы и морфологические модели используются для построения матрицы чувствительности к стихийным бедствиям, выявления механизмов передачи риска и оптимизации пропорций землепользования в масштабе сети или сообщества. В слое параметров формы участка морфологические модели эффективности безопасности и моделирования планирования используются для оптимизации коэффициентов компоновки и непрерывности здания, установления уточненных элементов управления для плотности, контура, расстояния, высоты и емкости.



3 Состав системы планирования реагирования на риски стихийных бедствий.

2.4 Стратегическое резервирование открытого пространства на основе топологии пространственных резервов

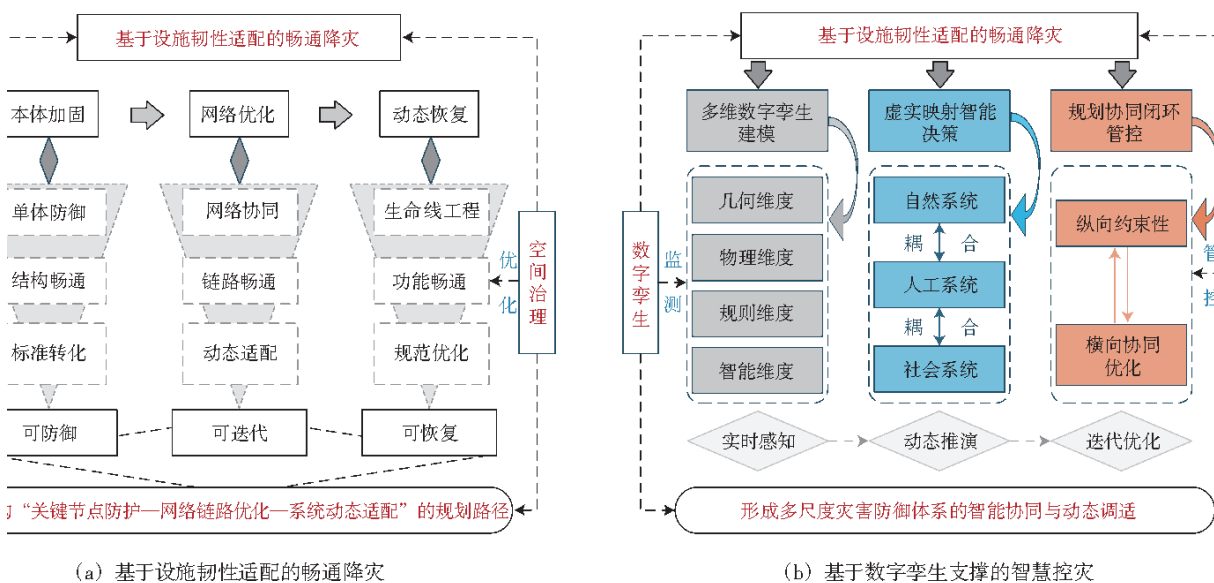
Стратегическое резервирование открытого пространства является стратегическим пространственно-резервным механизмом для городского планирования реагирования на риски стихийных бедствий. Он

преобразует устойчивое хранение и высвобождение в скорость распределения пространственных ресурсов путем оптимизации узлов и топологии устойчивости к городским условиям, формируя механизм преобразования бедствий, буферизации энергии и градуированного поглощения (рисунок 3b). Система берет свое начало в интеграции теории устойчивых городов и топологии. Во-первых, он преобразует пространственную избыточность и функциональную устойчивость для усиления реакции на неопределенные события. Во-вторых, он вводит логику согласования топологии и защиты от стихийных бедствий, реагируя на обязательную нормативную потребность в важном стратегическом резервном пространстве. В-третьих, через пространственно-резервную конверсию между поколениями, слои убежища на уровне поселка становятся распределенными устойчивыми единицами, сельскохозяйственное пространство связано через леса, поймы и распределение земельных ресурсов, а экологическое пространство использует природные резервы для создания крупномасштабных интерфейсов поглощения энергии бедствия.

Технически, система подчеркивает пространственное удержание, генерацию топологии и преобразование сущности. На стратегическом уровне открытого пространства он внедряет решения, основанные на природных элементах, таких как лес, поле, вода и пастбища, и преобразует мультимодальную сеть, встраивающуюся в буферные пояса. В поселковом пространстве он строит трехуровневую структуру ядра-кольца-коридора для поглощения и хранения энергии при различных градиентах. В сельскохозяйственных и экологических пространствах сети полевых хребтов и защищенные рельефы превращаются в крупномасштабные сети поглощения энергии. На этапе адаптации к динамической топологии модель пространственно-временного сопоставления определяет лучшие узлы убежища и аварийной поддержки, оптимизирует пути замены сети и распределения ресурсов восстановления и определяет порог активации и последовательность преобразования резервного пространства посредством моделирования сценария бедствия.

2.5 Смягчение последствий стихийных бедствий на основе подключения путем адаптации к устойчивости объектов

Смягчение последствий стихийных бедствий на основе взаимосвязанности является механизмом гарантирования инфраструктуры для городского планирования в ответ на риски стихийных бедствий. Он реконструирует инженерную защиту в базу устойчивой адаптации для пространственного управления путем координации физической системы, координации сети и динамического восстановления (рис. 4a). Эта система основана на связи теории устойчивой инфраструктуры и принципов пространственного управления [12,19]. Он оценивает инфраструктуру с помощью избыточности, адаптивности и восстановления, используя кольцевую топологию и модульную конструкцию для достижения высокого соответствия между функциями объекта и спросом. Во-вторых, теория сложных адаптивных систем используется для идентификации механизмов отказа от связи, и построен путь динамической адаптации сети на основе единой защиты, сетевого ремонта и эволюции системы. Наконец, требования к инженерной защите преобразуются в показатели управления планированием, и для повышения эффективности и сдвига пассивной защиты к активному участию в пространственной устойчивости устанавливается классификация землепользования с устойчивой инфраструктурой.



4 Состав системы планирования реагирования на стихийные бедствия.

2.6 Смарт-контроль катастроф, поддерживаемый цифровыми близнецами

Интеллектуальное управление стихийными бедствиями является центром цифрового управления для городского планирования реагирования на риски стихийных бедствий. Он устанавливает круговой механизм виртуально-реального взаимодействия, интеллектуальной итерации и интегрированного принятия решений посредством восприятия в реальном времени, динамического моделирования и итеративной оптимизации (рис.4b). Система происходит от методологических инноваций цифровых двойников и науки о сложных системах. Сначала он создает многомерные отображения от геометрического до динамического моделирования. Затем он интегрирует BIM, GIS и IoT для создания сопряженной среды моделирования природных, искусственных и социальных систем, модернизируя эмпирическое принятие решений в интеллектуальное управление, основанное на алгоритмах. Наконец, он соединяет цифровую платформу с территориальным пространственным планированием, так что контроль планирования, мониторинг реализации и обратная связь оценки образуют полный интеллектуальный замкнутый цикл.

В рамках реализации интеллектуальное управление стихийными бедствиями осуществляется посредством многомерного моделирования, виртуально-реального картирования и принятия решений в замкнутом цикле. Цифровая двойная модель обеспечивает поддержку дна посредством четырехмерного высокоточного моделирования геометрии, физики, правил и интеллекта. Виртуальное отображение поддерживает динамическую интерпретацию, встраивание ограничений и эволюционную проекцию. Связь «умное решение» основана на восприятии в реальном времени и многоинтеллектуальном моделировании тела для создания скоординированного управления в вертикальных и горизонтальных измерениях, превращая экстренное реагирование в точное вмешательство. На уровне планирования-координации платформа с одной картой поддерживает многоцелевую оптимизацию в рамках моделирования до стихийных бедствий, отслеживания стихийных бедствий и оценки после стихийных бедствий, формируя интеллектуальную систему управления восприятием, выводом, контролем и итерацией.

3 Выводы и перспективы

Как продукт человеческой трансформации природы, город развивается через постоянное взаимодействие с природными законами. Катастрофы — это не внешние нарушения градостроительства, а внутренние противоречия, заложенные в эволюции городского пространства. Таким образом, способность научно и эффективно реагировать на риски стихийных бедствий является ключевым показателем эффективности планирования. На фоне глубокой взаимосвязи глобального изменения климата и урбанизации в настоящем документе основное внимание уделяется рискам стихийных бедствий под значительным влиянием деятельности человека, деконструируются их пространственные характеристики и строятся шесть основных систем городского планирования. Основные выводы заключаются в следующем.

3.1 Уточнение градо-пространственной логики рисков стихийных бедствий

Пространственные характеристики городских рисков стихийных бедствий являются не единой географической особенностью, а интегрированным целым, состоящим из происхождения, структуры и эволюции. Материальное пространственное обеспечение происходит от нелинейной дифференциации энергетических материальных циклов в системе Земли. Движение плит и атмосферная циркуляция формируют субстрат риска, в то время как городская инженерная деятельность создает обратную связь между естественным субстратом, антропогенным возмущением и реакцией на риск. Сетевая пространственная организация опирается на топологию построенной среды и социальной системы, усиливает передачу риска через плотность, связь и интерфейсные эффекты и производит нелинейную передачу через здание, город и регион. Адаптивная пространственная динамика отражает динамическое взаимодействие между городским пространственным производством и природными системами, в которых пространственное развитие порождает эффекты между поколениями через замещение и передачу риска, а внешние эффекты человеческой деятельности усиливают межмасштабную и межмедианную дифференциацию риска.

3.2 Создание системы городского планирования контроля источников, защиты экспонированных тел и повышения потенциала

Основываясь на теории сложных систем и теории производства космического пространства, эта статья переводит структуру потенциала по уменьшению опасности стихийных бедствий в шести системах планирования [6,19-20]. Предотвращение стихийных бедствий путем выбора площадки определяет источники риска и реализует изоляцию источников путем размещения на месте для предотвращения стихийных бедствий. Структурное планирование до стихийных бедствий нацелено на функциональную организацию открытых тел и создает механизмы замещения и самовосстановления посредством оптимизации сетевой топологии и функциональной избыточности. Сокращение масштабов стихийных бедствий, связанных с контролем за потенциалом, не позволяет чрезмерной концентрации подвергшихся воздействию органов увеличивать риски за счет пороговых значений интенсивности развития. Стратегическое резервирование открытого пространства резервирует стратегическое пространство и строит физические буферы и укрытия. Смягчение последствий стихийных бедствий на основе подключения обеспечивает избыточность жизненного цикла и доступность сети для поддержания функций. Интеллектуальное управление стихийными бедствиями связывает мониторинг и предотвращение с помощью цифровых двойников и повышает точность и своевременность вмешательства. Вместе эти системы интегрируют контроль над источниками риска, защиту тела от воздействия и повышение потенциала по уменьшению опасности бедствий в городское планирование.

3.3 Изучение пути интеграции территориально-пространственного планирования и предупреждения и уменьшения опасности бедствий

Для решения проблемы недостаточной интеграции целей обеспечения устойчивости к воздействию факторов безопасности в документе предлагаются дифференцированные стратегии интеграции. На уровне планирования-передачи в жесткую систему управления из трех зон и трех линий должны быть включены линии контроля риска бедствий. На технико-методическом уровне должны быть интегрированы совместный мониторинг «небо-пространство-земля-глубокая», анализ пространственного наложения ГИС и моделирование многоразумного тела, чтобы связать оценку риска с планированием. На уровне управления и эффективности градуированный контроль, который сочетает в себе жесткие ограничения, гибкое руководство и адаптивную интеграцию, должен сбалансировать потребности в охране окружающей среды, предотвращении безопасности и пространственном развитии.

Реагирование городского планирования на риски стихийных бедствий является междисциплинарным и многоуровневым системным проектом. Будущие исследования должны способствовать дальнейшей интеграции междисциплинарных технических ресурсов и совместных инновационных платформ, содействовать переходу от предотвращения городских бедствий и их сокращению к упреждающему предотвращению, от защиты от одной опасности к управлению цепочкой бедствий и от принятия решений на основе опыта к интеллектуальному регулированию, тем самым обеспечивая техническую поддержку модернизации городского пространственного управления в соответствии со стратегией мирного Китая.

Список литературы

- [1] Buldyrev S V, Parshani R, Paul G, et al. Catastrophic cascade of failures in interdependent networks [J]. Nature, 2010, 464(7291): 1025-1028.
- [2] Peng Jianbing, Cui Peng, Wang Huijun, et al. Conception for building a natural-disaster prevention and control system [R]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2025, 39(6): 1-8.
- [3] Peng Jianbing, Lan Hengxing, Qian Hui, et al. Scientific conception of a livable Yellow River [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(2): 189-201.
- [4] Peng Jianbing, Zhang Yongshuang, Huang Da, et al. Feedback disaster effects among tectonic deformation, rock-mass loosening, surface freeze-thaw and engineering disturbance zones on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Earth Science, 2023, 48(8): 3099-3114.
- [5] Yin Yueping, Li Bin, Gao Yang, et al. Research on long-runout high-level geological disasters: review and prospect [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(5): 1-12.
- [6] Zhai Guofang, Xia Chenxi. From engineering disaster prevention to spatial governance: paradigm shift of resilient-city theory [J]. City Planning Review, 2023, 47(1): 9-19.
- [7] Liu D, Zhang J Q, Wang X, et al. Synergizing multi-temporal remote sensing and systemic resilience for rainstorm-flood risk zoning in the northern Qinling foothills: a geospatial modeling approach [J]. Remote Sensing, 2025, 17(12): 2150.
- [8] Yang Minxing, Huang Bo, Cui Can, et al. Review and prospect of disaster prevention research based on resilient-city theory [J]. Urban Planning Forum, 2016(1): 48-55.
- [9] Ren Baoguang. Design methods and principles for resilient cities based on complex adaptive systems theory [J]. Urban Development Studies, 2018, 25(10): 1-3.
- [10] Zhen Feng, Zhang Shuting, Qin Xiao, et al. From information-enabled to integrated-enabled: exploration of smart territorial spatial planning [J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(10): 2060-2072.

- [11] Dai Shenzhi, Liu Wanwan, Gao Xiaoyi, et al. Compilation system and implementation mechanism of territorial spatial disaster prevention and reduction planning [J]. Urban Planning Forum, 2023(1): 48-53.
- [12] Peng Can, Zuo Weixin, Li Yuewen, et al. Multi-risk coupling in urban space and resilient planning response [J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 88-97.
- [13] Wang Kai, Xu Hui, Jia Pengfei, et al. Exploration of a safety-resilience planning method for precise adaptation between regions and cities [J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(4): 43-54.
- [14] Kaufmann R K, Seto K C, Schneider A, et al. Climate response to rapid urban growth: evidence of a human-induced precipitation deficit [J]. Journal of Climate, 2007, 20(10): 2299-2306.
- [15] Beer T. Review of the book At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, 2nd ed., by B. Wisner, P. Blaikie, T. Cannon and I. Davis [J]. Natural Hazards, 2006, 40(2): 495-497.
- [16] Li Yunyan, Zhao Wanmin. Construction of an urban disaster prevention and mitigation method system based on spatial pathways [J]. City Planning Review, 2017, 41(4): 62-68.
- [17] Pan Haixiao, Dai Shenzhi, Zhao Yanqing, et al. Academic discussion on urban resilience and spatial planning in response to climate change [J]. Urban Planning Forum, 2021(5): 1-10.
- [18] Shi Peijun. Strengthening national natural-disaster risk assessment and zoning to support high-quality socioeconomic development [J]. China Emergency Management, 2023(1): 10-13.
- [19] Wu Zhiqiang, Wang Guangtao, Yang Baogun, et al. Academic discussion on cities supporting Chinese modernization: paths and missions [J]. Urban Planning Forum, 2025(3): 1-8.
- [20] Yue Qingrui, Lu Xinde, Xu Zhen, et al. Theoretical framework of risk source, exposed body and disaster-reduction capacity for urban safety [J]. Engineering Mechanics, 2025, 42(7): 19-27.

Перевод с помощью ИИ