الفشل في نظم الهياكل الأساسية الحضرية من أجل تحقيق المرونة: استعراض والتوقعات

**ZHANG Changchun, HE Lei, FAN Tingjun**

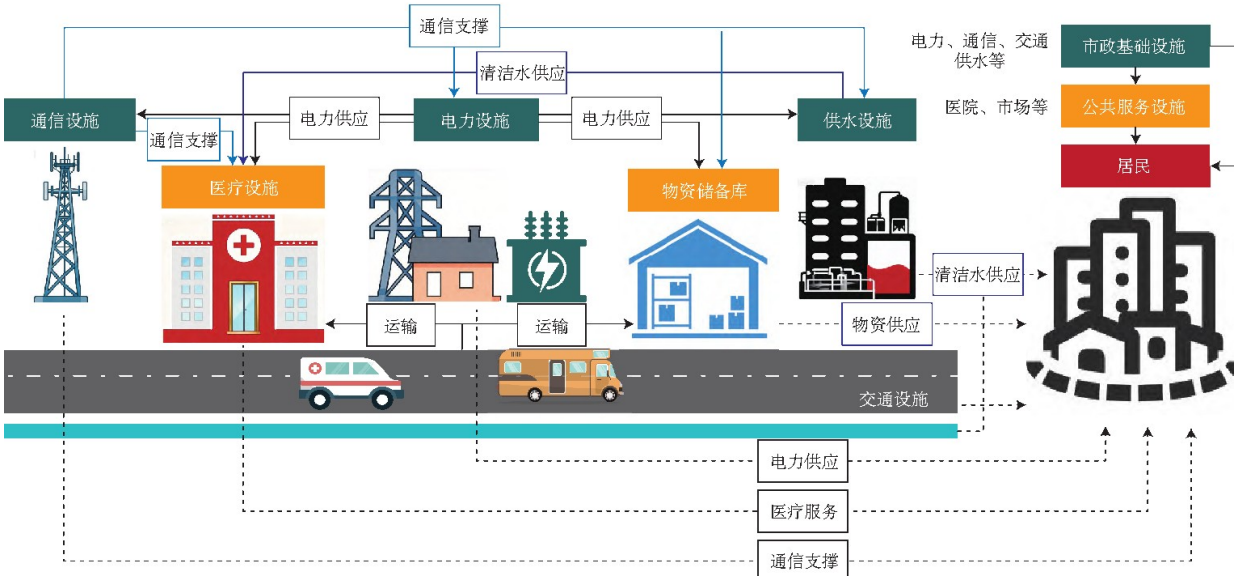
الملخص: إن تزايد تواتر الكوارث المتطرفة التي يتسبب فيها تغير المناخ العالمي قد أبرز مخاطر التخلف المسببة للتداخلات المعقدة بين نظم الهياكل الأساسية الحضرية، جعلهم تحديا محوريا للتخطيط الحضري المقاوم للكوارث. ولا تزال الدراسات القائمة مقيدة بثلاثة قيود. تحديد أوجه الترابط بين الهياكل الأساسية محدود بتوافر البيانات والأدوات المنهجية، إنتاج مجموعة ضيقة من الفئات المعترف بها. وكثيرا ما يغفل التحديد الدقيق للمرافق الحرجة النظم الاجتماعية وسلوك المقيمين وأدى ذلك إلى عدم اكتمال أطر المحاكاة. لا تزال استراتيجيات تحسين القدرة على التكيف تركز أساسا على استجابات النظام الواحد والتدابير المضادة الطارئة، وفي حين لا يزال التخطيط التعاوني المتعدد النظم ناقصا. على خلفية التقدم السريع في الاستخبارات الاصطناعية وتقترح هذه الورقة توجيهات بحثية. والمسارات التقنية: استخدام بيانات متجانسة متعددة المصادر ونماذج لغوية كبيرة لتحسين الجمبري (أ) تحديد الترابط بدقة؛ (أ) وضع نماذج محاكاة إلكترونية - فيزيائية لوصف الضعف المكاني الحضري؛ و صياغة ذكية :: استراتيجيات الإنعاش التعاونية المتعددة النظم للتعجيل باستعادة القدرة على الخدمات الحضرية. وتوفر الدراسة إرشادات نظرية ونُهج تقنية عملية لمعالجة القضايا الرئيسية في التخطيط لمواجهة الكوارث.

الكلمات المفتاحية: الهياكل الأساسية الحضرية؛ إخفاقات متتالية؛ - التخطيط لمواجهة الكوارث؛ الاستخبارات الاصطناعية؛ استعراض الأدبيات

إن تغير المناخ العالمي قد زاد من تواتره وكثافة كوارث الأرصاد الجوية الشديدة، الكشف عن كميات كبيرة من الجمجمات الصينية لحفر مياه حادة والفيضانات عواصف الأمطار الغزيرة الأخيرة في زينغزو (بكين) وتسببت شنزين في خسائر كبيرة الآثار الاجتماعية وكشفت عن ضعف النظم الحضرية. The Zhengzhou 20 تموز/يوليه عاصفة أمطار غير عادية هو الحالة النموذجية: وتسببت الإخفاقات المتتالية الناجمة عن عدم وجود مرفق وحيد للهياكل الأساسية في شلل وظيفي واسع النطاق، (ج) واستعادة الخدمات العامة قد وُضعت بشكل ملحوظ [1].
ردا على ذلك، تولي الصين أهمية متزايدة لمرونة الكوارث وتجديد الهياكل الأساسية. على مدى السنوات الخمس الماضية (أ) صدرت سلسلة من وثائق السياسات الوطنية؛ بما في ذلك الآراء بشأن تعزيز بناء الهياكل الأساسية الحضرية الجديدة وصدرت في كانون الأول/ديسمبر 2024 مدن مقاومة للبناء. وتقتضي هذه الوثائق من الحكومات المحلية تعزيز القدرة على مواجهة الكوارث القصوى (ب) تحسين القدرة الحضرية الشاملة على الوقاية من الكوارث. في الممارسة العملية، التخطيط المكاني لمدينة بيجين الوقاية الشاملة من الكوارث في شنغهاي والتخطيط للتخفيض (أ) أن تتضمن الإجراءات التقنية الوطنية للتخطيط المكاني الشامل لمواجهة الكوارث جميع الأطر المحددة؛ العمليات والمحتويات الأساسية ومع ذلك الفهم العلمي للتفاعلات المتعددة النظم ولا تزال التقنيات التنظيمية الدقيقة غير كافية.
من جذورها وتشتمل البيئة المبنية على علاقات تقارب معقدة بين عناصر متعددة. هذه العلاقات تهيئ الظروف ومسارات الفشل السماح بالكوارث الثانوية التي تسببها الأخطار الرئيسية بالانتشار وتوسع في البيئة المبنية [2-3]. الحضر والتخطيط الريفي وسيلة أساسية لتنسيق المخططات المكانية المتعددة النظم وتسلسلات البناء في البيئة المبنية، ولكن الافتقار إلى البحوث المنهجية تنظيم متعدد المخاطر ويحد التفاعلات المتعددة النظم من أثر تخطيط منع الكوارث [4-8]. ومن ثم، تستعرض هذه الورقة القيود الحالية في مجال تخطيط منع الكوارث، موجز الدراسات المتعلقة بتخلف الهياكل الأساسية المترابطة عن تحديد الترابط، محاكاة الفشل (أ) استراتيجية إعادة تخزين القدرة على التكيف؛ وتقترح التوقعات ومسارات الابتكار القائمة على التكنولوجيات الجديدة. &2 ;apos`

## 1 مخاطر مزدوجة في نظم الهياكل الأساسية الحضرية

إن المدينة نظام ديناميي يعتمد اعتمادا كبيرا على وظائف الهياكل الأساسية أثناء التشغيل. تشكل النظم المستقلة فيما يبدو شبكة نقل وظيفية مترابطة تدعم الحياة اليومية والوظائف الحضرية ]٩[. كما يظهر في (فيغ) واحد القوة الاتصالات النقل إمدادات المياه ولنظم الحياة الأخرى علاقات داخلية وثيقة لدعم الإمدادات. كما أنها توفر ضمانات أساسية لمرافق الخدمة العامة مثل المستشفيات والاحتياطيات المادية. هذه المرافق من خلال شبكات الهياكل الأساسية ونظم النقل البري تلبية الاحتياجات اليومية للسكان وتثبيت العمليات الحضرية




(فيغ) (1) أوجه الترابط بين النظم الفرعية للهياكل الأساسية الحضرية.

هذه الرابطة نتيجة للتخطيط والتصميم الشكل وتنظيم البيئة المبنية يتم تشكيله بقرارات التخطيط وعلاقات الترابط مخططات مكانية وصممت الروابط الوظيفية فيما بين نظم الهياكل الأساسية لتحسين كفاءة التشغيل العامة. فيما يتعلق بالوصلات وزيادة الكثافة وتتحسّن كفاءة الخدمات، غير أن ضعف النظام يزداد أيضا [10-11]. عندما يزعج عقدة حرجة أو نظام فرعي يمكن أن ينتشر الأثر بسرعة من خلال سلاسل التبعية ويتسبب في شلل النظام انقطاع أمريكا الشمالية عام 2003 أدى إلى فشل في إمدادات المياه النقل والاتصالات؛ في 2021 زينغشو 20 تموز/يوليه الضرر الذي لحق بمرافق الطاقة تسبب في صعوبات في إمدادات المياه [1] and communications.
والترابط فيما بين نظم البنية التحتية يعني أن الضرر الذي يلحق بمرفق واحد قد يؤدي إلى حدوث إخفاقات متتالية، إضعاف قدرة الخدمات الحضرية ويسبب ضرراً متسلسلاً في الحياة اليومية للسكان والاقتصاد الحضري. تحت مجهود الصين المكثف لبناء مدن مقاومه للكوارث الحد من آثار التكسير التدخل بكفاءة في المرافق المحدودة قطع والنظم ويُعد تحسين قدرة الخدمات الحضرية من المهام الرئيسية المتعلقة بتشييد المدن المرنة.

2 التقدم المحرز في مجال البحوث المتعلقة بالتخطيط لمنع الكوارث في الهياكل الأساسية الحضرية

وقد تطور التخطيط التقليدي لمنع الكوارث حول الهياكل الأساسية الحضرية بشكل رئيسي في اتجاهين. الأول هو مرفق النظام الواحد. وتركز الدراسات القائمة على التصميم الأمثل لمرافق وحيدة مثل الهياكل الأساسية للطرق، صهاريج احتجاز مياه الأمطار أنابيب الإمداد بالمياه البنية التحتية الخضراء ومحطات الضخ غالبا ما يستخدم نماذج مادية أو رقمية للتقليل إلى أدنى حد من الخسائر بعد الكوارث وتحسين فعالية خطط الطوارئ [12-15]. هذا الخط من العمل مفيد لتحقيق الاستخدام الأمثل للهندسة المحلية ولكنه يقتصر عموما على مرفق واحد ولا تنظر بشكل كامل في التغذية المرتدة بين النظم المتعددة أو التقارب المكاني.
الاتجاه الثاني هو حماية النظام و التخطيط من منظور النظام الدراسات التي تحدد قدرة الهياكل الأساسية على التكيف واقتراح استراتيجيات في مجالات مثل الإدارة المتكاملة، تم صقل السيطرة على جميع العمليات [١٦-١٧] وقد سلّمت الأعمال الأخيرة بشأن القدرة على التكيف في المناطق الحضرية على نحو متزايد بأن أوجه الترابط بين الهياكل الأساسية تحدد ضعف المناطق الحضرية وسرعة التعافي بعد الكارثة وقد اقترح شوليرز توجيه التخطيط من الجمع بين الهياكل الأساسية البلدية ونظم منع الكوارث [١٨]، دعا إلى إدراج التعرض، ضعف وتحليل الأخطار في نظام تقييم تخطيط منع الكوارث [20]، وذهب إلى أن التخطيط المرن يجب أن ينسق قوة النظام الواحد مع الوقاية من التخلف المكثف المتعدد النظم [19-21].
إجمالا ويجب أن ينتقل التخطيط للوقاية من الكوارث الموجه نحو التكيف من الخبرة الهندسية على مستوى المرافق إلى التنسيق فيما بين النظم. وتتمثل مهمتها في تحديد الروابط الضعيفة في الشبكات المعقدة، فهم آليات التكسير وآثار التضخيم وترجمتها إلى ضوابط تخطيطية قابلة للتنفيذ. ويمكن تنظيم العملية حول ثلاثة وصلات أساسية: تحديد الترابط محاكاة الفشل واستراتيجية الإنعاش (فيغ). 3).

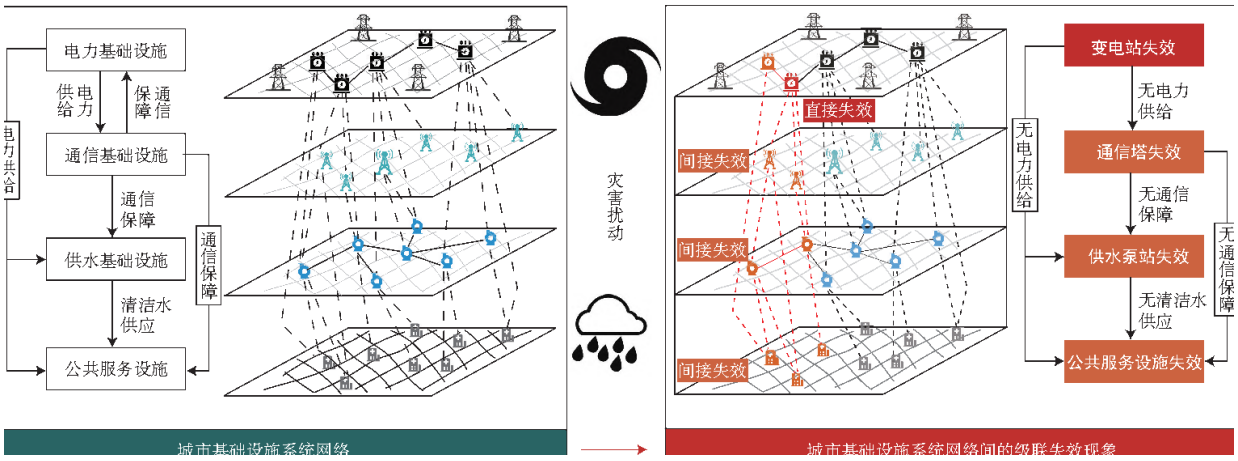
3 التقدم المحرز في مجال البحوث المتعلقة بالتكنولوجيات الرئيسية لحالات الفشل المتلاصق في الهياكل الأساسية الحضرية المترابطة

近年来，随着对城市韧性问题的关
：，学者们逐渐认识到，基础设施间的
：联性是决定城市脆弱性与灾后恢复速

城市关联基础设施各子系统通过物质、能量与信息交互形成有机整体，极

支持。

为此，后续研究转向基于数据的依赖关系识别。目前依赖性识别方法主要




(فيغ) )٢( حالات الفشل في نظم الهياكل الأساسية الحضرية.

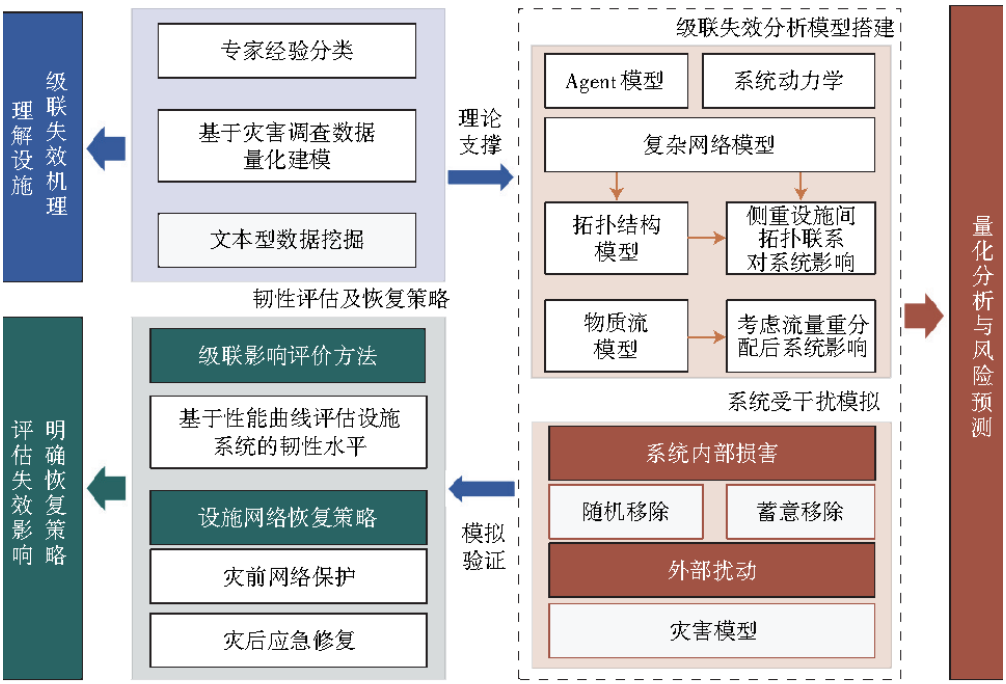



图3　城市基础设施级联失效关键技术研究概况

(فيغ) )٣( استعراض محو الأمية بشأن التكنولوجيات الرئيسية للتخفيف من حالات الفشل المسببة في الهياكل الأساسية الحضرية.

تشكل النظم الفرعية للهياكل الأساسية الحضرية كيانات عضوية من خلال تبادل المواد، الطاقة و معلومات تحت اضطراب شديد الفشل المحلي يمكن أن ينتشر على طول سلاسل الإعالة و تتصاعد في الفشل تهديد العملية الحضرية و السلامة المقيمة التحليل of this المشكلة ينبغي أن تكون أتبع منطق تدفق النظام of mechanism تحليل خصم المخاطر تدخل نشط وتقييم المرونة. فيما يلي: تركيز الاستعراض بشأن الترابط تحديد الهوية محاكاة الفشل وتدابير المواجهة.

3.1 تحديد أوجه الترابط بين الهياكل الأساسية المترابطة

Rinaldi وآخرون تداخلات سرية بين البنى التحتية الإنترنت، جغرافيا وفئات منطقية التركيز على الطاقة، إمدادات المياه الاتصالات الطاقة ونظم النقل ]٩[. ووسعت الدراسات اللاحقة هذا التصنيف من منظورات مختلفة بإضافة اعتماد على السياسات، التبعية الاجتماعية والاعتماد الاقتصادي [22]. وكثيرا ما يستند العمل المبكر إلى حكم الخبراء وتركز على عدد قليل من القطاعات مثل السلطة وإمدادات المياه بدعم محدود من البيانات التجريبية.

وتحولت الدراسات اللاحقة إلى تحديد التبعية على أساس البيانات. وتُحدِّد الأساليب القائمة على سجلات التحقيق في حالات الكوارث أوجه الترابط من البيانات اللاحقة. Mendonca وحدد والاس روابط في إصلاح الهياكل الأساسية بعد وقوع الكارثة بعد الهجوم الذي شنه مركز التجارة العالمي في عام 2001 [24]. الدير (ب) معامل الترابط المقدرة وقوام من إعادة التجهيز [25]. Zorn وشمسل الدين مستمد من توجيه الإعالة (د) استخدام العلاقات المتعلقة باسترداد المساعدة والكثافة [26]. التقرير كما استُخدمت أنشطة تعدين الأخبار لاستخراج تظاهرات التبعية من السجلات العامة ووسائط الإعلام بناء المزيد نصوص متنوعة أدلة الاعتراف بالترابط [27-29].

ولا يزال البحث القائم على البيانات استكشافيا. ويعتمد العديد من الدراسات على تعدين النصوص المفردة، (ب) الافتقار إلى التحقق من البيانات المتعددة المصادر، وعادة ما تحدد أنواع الترابط من قبيل الاقامة الجغرافية أو دعم القرارات الإدارية. وهي لا تزال غير كافية للكشف عن آليات التبعية المعقدة فيما بين الهياكل الأساسية المرتبطة بها.

### 3.2 محاكاة الإخفاقات المتتالية في الهياكل الأساسية المترابطة

حدوث إخفاقات في تصريف الهياكل الأساسية من خلال الترابط المعقد والتبعية الوظيفية. ولذلك فإن المحاكاة العقارية ضرورية لفهم آليات الفشل وتحديد المرافق الرئيسية. البحوث القائمة تتناول أساسا أساليب النماذج، استمارات اضطراب وخصم دينامي تحت الأخطاء

#### 3.2.1 أساليب نموذجية لشبكات الهياكل الأساسية المترابطة

بسبب الاختلافات في منظور البحوث وتوافر البيانات، وتستخدم على نطاق واسع ثلاثة أنواع من أساليب النماذج. معاملة عناصر البنية التحتية ككيانات لها قرار الخصائص السلوكية وتحفيز التفاعلات بين النظم [31-32]. أساليب الديناميكية النظامية واستجابة الشبكة، تحليل الآثار الطويلة الأجل للفشل [33-34]. طرق تحليل الشبكة، المكونات المجردة كعناصر، علاقات جسدية أو تبعية كحواف و العلاقات الإتجاهية كالوزن وبالتالي تحديد الموثوقية ونقل تدفق الخدمات عبر النظم [35-36].

#### 3.2.2 أشكال الفشل في شبكات الهياكل الأساسية

شبكات الهياكل الأساسية معرضة للوجود الداخلي والاضطرابات الخارجية وتشمل الاضطرابات الداخلية عمليات الإزالة العشوائية والهجمات الخبيثة على المشنقة أو المكونات التي تستخدم في محاكاة الانقطاعات الناجمة عن معدات الشيخوخة فشل تشغيلي أو ضرر مستهدف [45-47]. وتشمل الاضطرابات الخارجية المخاطر الطبيعية، الحوادث وهجمات خبيثة لديهم تشوهات حادة والارتباطات الجغرافية وكثيراً ما تجمع الدراسات بين نماذج عمليات الخطر ونماذج شبكات البنية التحتية لتحفيز الفشل المكوني في إطار العمل المتعلق بالكوارث [48-51]. ومع ذلك، لا تزال نماذج الاضطرابات القائمة محدودة القدرة على استيعاب التطور المكاني الديناميو وعمليات الاستجابة عبر المنظومة في حالات الكوارث المعقدة.

### 3.3 استراتيجيات للارتقاء بالهياكل الأساسية في إطار آثار التخلف

على أساس آليات التكسير تقييم الدراسات لمرونة الهياكل الأساسية واستراتيجيات الإصلاح لضمان استقرار الخدمات خلال الأحوال الجوية القصوى. ويستخدم تقييم مدى القدرة على التكيف عادة منحنات للأداء لتقدير حجم حالة النظام قبل ذلك، خلال وبعد الفشل [51]. تركز دراسات إعادة الإمداد على حماية الشبكات قبل وقوع الكوارث وتخصيص الموارد بعد الكوارث، بما في ذلك تحديد العناصر الرئيسية، تحقيق الاستخدام الأمثل لوسائل تشغيل الشبكات تخصيص الموارد، وتدابير الحماية [52-54]. دراسات الاسترداد في حالات الطوارئ تدرس تسلسل المهام تخصيص الموارد في إطار موارد الإصلاح المحدودة وقيود السلوك [55-56].

وقد أحرزت البحوث القائمة في مجال الاستراتيجية تقدما في تحديد العناصر الرئيسية، تحسين حماية الشبكات وتعظيم تخصيص الموارد من أجل الإصلاح، ولكنه لا يزال يركز أساسا على شبكات الهياكل الأساسية نفسها. الآثار الموظفون المقيمون إمكانية الوصول سلوك العمليات الاجتماعية وكثيراً ما لا يُنظر بشكل كامل في التنسيق المكاني بشأن القدرة على التكيف.

### 3.4 استعراض التقدم المحرز في مجال البحث

#### 3.4.1 الأجسام البحثية: عدم كفاية التكامل المتعدد النظم

وتتركز الدراسات الحالية في معظمها على نظم الهياكل الأساسية الوحيدة أو الإخفاقات الداخلية في التموين بين عدد صغير من النظم. لم يشكلوا بعد إطاراً يبدأ من المدينة العامة يدمج أنواعا متعددة من الهياكل الأساسية، ويقيّم آثارها على قدرة الخدمة المقيمة. لا يزال محتوى البحوث يهيمن عليه النقل ومرافق الصرف الصحي، وفي حين أن تأثيرات الفشل الوظيفي للهياكل الأساسية الاجتماعية مثل المستشفيات،

احتياطيات المواد، ولا تحظى مرافق خدمات الطوارئ باهتمام كاف. منذ الفشل of these المرافق مباشرة ويؤثر بشكل غير مباشر على التعافي بعد الكارثة وينبغي توسيع نطاق نظام البحث الموضوعي.

3.4.2 استكشاف الآلية: لا تزال الدقة في تحديد الهوية محدودة

وكثيراً ما تستند دراسات آليات الفشل إلى تقدير نوعي أو تحليل منهجي للبيانات. تحديد الاعتماد على البيانات واكتشاف قانون الإرسال يظل ضعيفاً ويعتمد العديد من الدراسات على الوثائق الموثوقة أو على استخراج معلومات واحدة، انعدام الرواسب والتحليل المتكامل للبيانات المتباينة المتعددة المصادر، (ب) عدم كفاية توصيف المعالين المعقّدين فيما بين الهياكل الأساسية المترابطة.

3.4.3 المحاكاة النموذجية: عدم كفاية تصوير الآليات المادية الآثار الاجتماعية

ويمكن لنماذج المحاكاة القائمة أن تصف عمليات الفشل المادي في المرافق إلى حد ما، لكنهم يميلون إلى التركيز على الضرر على مستوى المرافق. غالباً ما يفتقرون إلى تحليل شامل لإمكانية وصول السكان للخدمة وآثار التعاون الاجتماعي. وبما أن الهدف الأساسي لمرونة المناطق الحضرية هو حماية الاحتياجات اليومية للمقيمين واستمرارية الخدمة النماذج يجب أن تستحدث أبعاداً من قبيل إمكانية الوصول إلى أماكن الإقامة وتوفير الخدمات لتحقيق تحول من الانقطاع الوظيفي إلى تقييم الأثر الاجتماعي.

3.4.4 المستوى الاستراتيجي: لا يزال التنظيم يتركز على الإصلاح الهندسي

تركز استراتيجيات الإنعاش الحالية على الإصلاح الهندسي وتعزيز الحماية ولم تشكل بعد إطارا منهجيا للإنعاش يدمج المكاني والتنسيق الزمني. ويمكن للتدابير الهندسية أن تخفف من إخفاق الهياكل الأساسية المحلية، ولكنها غير كافية لمعالجة آثار التكسير عبر نظم متعددة. وينبغي أن يبني التخطيط في المستقبل آليات متكاملة للتصميم المكاني على النحو الأمثل، تجديد المرافق وتنسيق شؤون الحكم، دعم الإنعاش المنسق واستعادة القدرة على الخدمة المدنية بسرعة.

4 التوقعات المتعلقة بدراسات عدم التكسير في إطار التكنولوجيات الجديدة

بالنظر إلى مشاكل عدم كفاية تحديد الترابط عدم كفاية المحاكاة الدقيقة للمرافق الحرجة، وضعف استراتيجيات التخطيط التعاونية المتعددة النظم، الاستخبارات الاصطناعية تقدم مسارات بحثية جديدة وتقترح هذه الورقة ثلاثة اتجاهات: (أ) تحسين دقة تحديد الاعتماد على الهياكل الأساسية مع نماذج اللغات الكبيرة؛ بناء نماذج التبعية المتعددة النظم الحاسوبية في مجال محاكاة السيناريوهات وتقييم المخاطر، وتحقيق التخطيط الذكي لمواجهة الكوارث في إطار أهداف متعددة.

4.1 استخدام نماذج لغوية كبيرة لتحسين تحديد الترابط بين الهياكل الأساسية

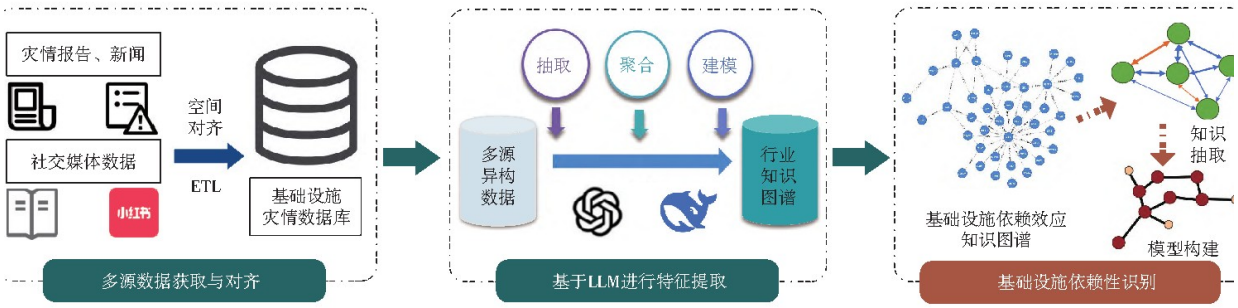
ويركز تحليل الترابط الحالي أساسا على الاتصالات المادية، واستكشاف المعالين الخفية فيما بين نظم مثل الاتصالات، النقل ولا تزال الهياكل الأساسية الاجتماعية غير كافية. ويمكن استخدام نماذج اللغات الكبيرة في البيانات المتعددة المصادر، بما في ذلك التقارير التاريخية عن الكوارث، أخبار معارف الخبراء صور الاستشعار عن بعد رصد أجهزة الاستشعار، والمعلومات المتعلقة بالوسائط الاجتماعية. وتساعد البيانات النصية على الكشف عن معول الهياكل الأساسية في إطار التشغيل العادي وظروف الكوارث غير العادية جمع بيانات الاستشعار وأجهزة التشغيل ويفسر الاستشعار عن بعد التوزيع المكاني وصلات جسدية

على هذا الأساس النماذج اللغوية الكبيرة يمكن أن تجري تحليلاً ساكناً استخراج المعرفة وتشييد رسوم المعرفة :: وضع خريطة معارف للترابط وجعل هياكل التبعية قابلة للتخزين ومرئي من خلال التخزين المنظم والتمثيل البصري، ويمكن أن يدعم النموذج تحديد هوية المتأخرين المعالين غير المقصودين (و) توفير قاعدة أقوى للأدلة من أجل التخطيط للقرارات (فيغ). 4).

市整体视角出发、整合多类型基础 及其对居民服务能力影响的研究框

同机制的综合防灾调控体系，实现多系 统协同恢复与居民服务能力的快速重建。

建基础设施依赖效应知识图谱，实现 赖关系的结构化存储与可视化呈现。



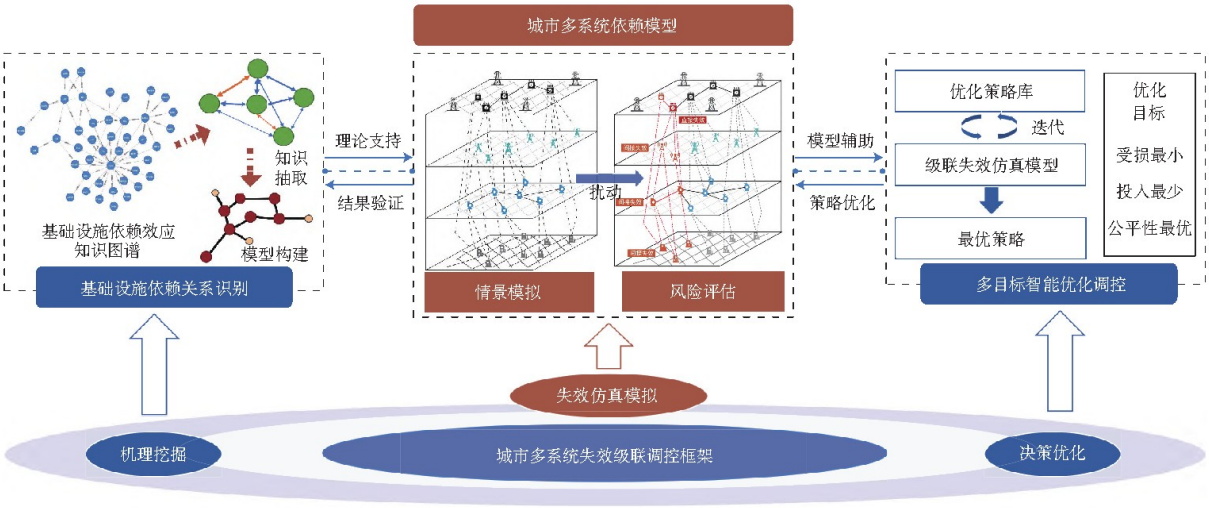
(فيغ) 4 - تعزيز تحديد الترابط بين الهياكل الأساسية من خلال البيانات المتعددة المصادر ونماذج لغوية كبيرة.

4.2 بناء نماذج التبعية المتعددة النظم الحضرية السيبرانية من أجل محاكاة السيناريوهات تقييم المخاطر من أجل التخطيط لمواجهة الكوارث ويشكل نموذج الإخفاقات في النظم المتعددة تحدياً رئيسياً. ويمكن للنماذج الرقمية البحتة أن تستخلص بكفاءة استجابات النظم الكلية، لكنها تواجه صعوبة في استنساخ الآليات المحمّنة وتبسيط الافتراضات النموذجية قد تكون عتبات الفشل التحيزية ومسارات الإرسال النماذج الفيزيائية يمكنها إعادة العمليات الحقيقية ولكن تغطيتها للسيناريوهات المعقدة الواسعة النطاق محدودة. ويمكن لنموذج التبعية السيبرانية الفيزيائية أن يجمع بين مزايا كليهما.

النموذج تتألف من التبعية المتعددة النظم المحاكاة ونمائط الخبرة المادية. ويتخذ نموذج المحاكاة شبكات البنية التحتية ذات الطوابق الواحدة أساسا ويكمل البناء المختلط وفقا لقواعد التبعية، بما في ذلك الطبول المبسط ونموذج الشبكات الأساسية مثل الطاقة، إمدادات المياه والنقل، وتحديد قوانين التدفق أنواع التبعية سمات المفاتيح والبارامترات الأساسية. وتتحقق وحدة الخبرة المادية من نتائج المحاكاة الرقمية في ظل البيئات الخاضعة للرقابة. قياسات من أنفاق الرياح دبابات وغيرها من التجارب يمكن أن تصحح علاقات العرض والطلب مقاييس ميكانيكية وبارامترات الضعف تحت الحمولات القصوى تحسين دقة آليات الفشل المصغرة وتقديم أدلة على وجود معايرة نموذجية متعددة.

4.3 تحقيق التخطيط الذكي لمواجهة الكوارث في إطار أهداف متعددة

ويعتمد التخطيط الحالي إلى حد كبير على الخصم القائم على الخبرة وتحليل نموذجي. تحت كوارث متطرفة الإخفاقات المتتالية المتعددة النظم في المناطق الحضرية تتطلب إطارا للتخطيط يدمج الخوارزميات الذكية واتخاذ القرارات المتعددة الجوانب، التحول من الاستجابة السلبية إلى الوقاية الفعالة. كما يظهر في (فيغ) 5 والجوهر هو بناء حلقة متكاملة من تعدين الآليات، المحاكاة واتخاذ القرار على النحو الأمثل. In mechanism mining, تعول الهياكل الأساسية، الجمعيات الوظيفية وتم تحديد مسارات الانقلاب. في المحاكاة تستخدم نماذج متعددة النظم للبناء النظري، التثبت التجريبي محاكاة السيناريو وتقييم المخاطر. في اتخاذ القرار، وتولد الخوارزميات المتعددة الجوانب تسلسلاً أمثل للتدخل في إطار أهداف مثل الحد الأدنى من التعطل، أدنى استثمار والعدالة المثلى




(فيغ) 5 - التخطيط ونُهُج تنظيمية لحالات الفشل المتعاقبة المتعددة النظم في المناطق الحضرية.

ويساعد هذا الإطار على معالجة مشكلتين أساسيتين في التخطيط الحالي لمنع الكوارث: عدم وجود آليات كافية للتفاعل المتعدد النظم والافتقار إلى الكمية دقيق والضوابط المرنة يمكنه دعم تحديد المخاطر التعافي الوظيفي، والتدخل المكاني وتشجيع التخطيط لمواجهة الكوارث نحو الاستخبارات وتحسّن

5 خاتمة

وتستعرض هذه الورقة التقدم المحرز في مجال البحوث المتعلقة بالإخفاقات المتتالية في نظم الهياكل الأساسية من أجل تخطيط المدن لمواجهة الكوارث. وهو يلخص بشكل منهجي ثلاث وصلات أساسية، تحديد الترابط، محاكاة الفشل وتركيب استراتيجية الإنعاش، (و) تحليل آليات الاختباء and prevention مسارات الهياكل الأساسية اضطراب الكوارث (أ) التحديد الدقيق للمعالين المتعددة الأبعاد هو أساس فهم آليات التخلف؛ محاكاة السيناريو ومنظومات التقييم هي الأساس العلمي لصياغة استراتيجيات الإنعاش المستهدفة وتحسين قدرة النظام عموما على التكيف.

الاستعراض أيضاً القيود الواضحة الحالية دراسات غير كافية فهم النظام المتعدد الفشل التعاوني الآليات، الوظائف الاجتماعية ناقصة التمثيل وآثار الخدمات، وتولي اهتماما محدودا للتنسيق المكاني في مجال الإصلاح الهندسي. للتغلب على هذه المشاكل وينبغي أن تستخدم البحوث المقبلة بيانات متجانسة متعددة المصادر ونماذج لغوية كبيرة لبناء رسوم بيانية عن المعارف المتعلقة بالاعتماد على الهياكل الأساسية؛ بناء منابر محاكاة إلكترونية - فيزياء تدمج المحاكاة الرقمية والتجارب المادية؛ وضع نماذج متعددة الجوانب لاتخاذ القرارات من أجل تخصيص الموارد والتدخل المرن مع تحسن بيئات البيانات والأساليب الذكية أصبحت أكثر تكاملا ستؤدي البحوث المتعلقة بمرونة الهياكل الأساسية دورا متزايد الأهمية في إدارة السلامة الحضرية والتنمية المستدامة.

المراجع


[1] State Council Disaster Investigation Team. Investigation report on the Henan Zhengzhou July 20 extraordinary rainstorm disaster [R]. Beijing: Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China, 2022.

[2] He Lei, Xie Ziang, Li Jie. Disaster-resilient cities: essential connotation, fractal structure and characteristic vectors [J]. City Planning Review, 2024, 48(7): 28-35.

[3] Peng Chong, Zuo Peiwen, Li Yuewen, et al. Multi-risk coupling in urban space and resilient planning response [J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 88-97.

[4] Zhai Guofang. Resilient responses to urban rainstorm-flood disasters from a planning perspective under climate change: key concepts, basic ideas and a general framework [J]. Urban Planning Forum, 2024(1): 29-37.

[5] Dai Shenzhi, Liu Tingting, Gao Xiaoyu, et al. Compilation system and implementation mechanism of territorial spatial disaster prevention and reduction planning [J]. Urban Planning Forum, 2023(1): 48-53.

[6] Yan Wentao, Ren Jie, Zhang Shangwu, et al. Shanghai resilient city planning: key issues, overall framework and planning strategies [J]. Urban Planning Forum, 2022(3): 19-28.

[7] Yan Wentao, Li Zihao. Resilience mechanism of urban spatial structure from the perspective of risk disturbance: theoretical framework and empirical methods [J]. Urban Planning International, 2023, 38(4): 1-10.

[8] He Lei, Xie Ziang. Towards resilience: review and prospect of urban comprehensive disaster-prevention planning [J]. Urban and Rural Planning, 2021(3): 43-54.

[9] Rinaldi S M, Peerenboom J P, Kelly T. Identifying, understanding and analyzing critical infrastructure interdependencies [J]. IEEE Control Systems Magazine, 2001, 21(6): 11-25.

[10] Xie Lei, Zhou Pengfei, Yang Hongyi, et al. Exploring a resilience paradigm for lifeline engineering in coastal areas under climate-change impacts: the case of Ningbo [J]. Urban Planning Forum, 2022(8): 81-88.

[11] Sun H J, Zhao H, Wu J J. A robust matching model of capacity to defense cascading failure on complex networks [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2008, 387(25): 6431-6435.

[12] Yang Xiao. Optimization scheme for urban road design based on reducing waterlogging [J]. Scientific and Technological Innovation, 2025(5): 150-153.

[13] Li Wenyu, Hou Jingming, Li Xuan, et al. Optimal operation of urban rainwater detention tanks based on a stormwater numerical model [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2024, 35(5): 82-89.

[14] Guo Li, Hu Jianing, Gu Qinghua, et al. Optimized deployment of green infrastructure for urban waterlogging response [J]. City and Disaster Reduction, 2024(6): 27-32.

[15] Li Kailin. Design essentials and rectification-measure optimization for drainage pumping stations in old urban districts [J]. Fujian Construction Science and Technology, 2024(6): 140-142, 154.

[16] Kong Yun, Cui Limin, Li Wei, et al. Key issues in municipal infrastructure planning from the perspective of public safety [C]//Urban Planning Society of China. People's City, Planning Empowerment: Proceedings of the 2023 Annual National Planning Conference, 2023: 18.

[17] Gong Qilong, Wang Xiaobin, Yin Haoqi, et al. Research on resilient municipal infrastructure from the perspective of territorial spatial planning [C]//Urban Planning Society of China. People's City, Planning Empowerment: Proceedings of the 2022 Annual National Planning Conference, 2023: 10.
[18] Guo Dongjun, Wu Yanhua, Zhao Hongxu, et al. International experience and implications for critical infrastructure protection planning [J]. Urban Planning Forum, 2025(1): 111-119.
[19] Dai Shenzhi, Feng Hao, He Lei, et al. Compilation mode of disaster-prevention planning in master-plan revisions of large Chinese cities: the case of Wuhan [J]. Urban Planning Forum, 2019(1): 91-98.
[20] Chen Zhiqian. Preliminary exploration of municipal infrastructure planning strategies under the resilient-city concept [J]. City and Disaster Reduction, 2021(6): 36-42.
[21] Han Yu, Huang Xiao, Ye Xinyue, et al. Enhancing urban resilience under climate change through adaptive disaster-prevention and mitigation planning for interconnected infrastructure systems [J]. Landscape Architecture Frontiers, 2021, 9(6): 78-87.
[22] Dudenhoeffer D D, Permann M R, Manic M. CIMS: a framework for infrastructure interdependency modeling and analysis [C]//Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. Monterey: IEEE, 2006: 478-485.
[23] Friesz T L, Mookherjee R, Peeta S. Modeling large scale and complex infrastructure systems as computable games [M]//Friesz T L. Network science, nonlinear science and infrastructure systems. New York: Springer, 2007: 53-75.
[24] Mendonca D, Wallace W A. Impacts of the 2001 World Trade Center attack on New York city critical infrastructures [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2006, 12(4): 260-270.
[25] Monsalve M, de la Llera J C. Data-driven estimation of interdependencies and restoration of infrastructure systems [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2019, 181: 167-180.
[26] Zorn C R, Shamseldin A Y. Quantifying directional dependencies from infrastructure restoration data [J]. Earthquake Spectra, 2016, 32(3): 1363-1381.
[27] Reed D A, Kapur K C, Christie R D. Methodology for assessing the resilience of networked infrastructure [J]. IEEE Systems Journal, 2009, 3(2): 174-180.
[28] McDaniels T, Chang S, Peterson K, et al. Empirical framework for characterizing infrastructure failure interdependencies [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2007, 13(3): 175-184.
[29] Zhou S, Ng S T, Yang Y, et al. Delineating infrastructure failure interdependencies and associated stakeholders through news mining: the case of Hong Kong's water pipe bursts [J]. Journal of Management in Engineering, 2020, 36(5): 04020060.
[30] Gursan C, de Gooyert V, de Bruijne M, et al. Socio-technical infrastructure interdependencies and their implications for urban sustainability: recent insights from the Netherlands [J]. Cities, 2023, 140: 104397.
[31] Basu N, Pryor R, Quint T. ASPEN: a micro-simulation model of the economy [J]. Computational Economics, 1998, 12: 223-241.
[32] Dudenhoeffer D D, Permann M R, Manic M. Interdependency modeling and emergency response [C]//Proceedings of the 2007 Summer Computer Simulation Conference. San Diego: Society for Modeling and Simulation International, 2007: 1230-1237.
[33] Bush B B, Dauelsberg L R, LeClaire R J, et al. Critical infrastructure protection decision support system (CIP/DSS) project overview [R]. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 2005.
[34] Conrad S H, LeClaire R J, O'Reilly G P, et al. Critical national infrastructure reliability modeling and analysis [J]. Bell Labs Technical Journal, 2006, 11(3): 57-71.

[35] Poljansek K, Bono F, Gutierrez E. Seismic risk assessment of interdependent critical infrastructure systems: the case of European gas and electricity networks [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2012, 41(1): 61-79.
[36] Duenas-Osorio L, Craig J I, Goodno B J, et al. Interdependent response of networked systems [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2007, 13(3): 185-194.
[37] Ouyang M. Critical location identification and vulnerability analysis of interdependent infrastructure systems under spatially localized attacks [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2016, 154: 106-116.
[38] Muhlhofer E, Koks E E, Kropf C M, et al. A generalized natural hazard risk modelling framework for infrastructure failure cascades [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2023, 234: 109194.
[39] Atat R, Ismail M, Serpedin E. Joint cascade vulnerability assessment of interdependent power-water infrastructures [J]. IEEE Systems Journal, 2023, 17(4): 5156-5167.
[40] Rueda D F, Olivares D E, Oliveira L F M. Using interdependency matrices to mitigate targeted attacks on interdependent networks: a case study involving a power grid and backbone telecommunications networks [J]. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2017, 16: 3-12.
[41] Ouyang M, Wang Z. Resilience assessment of interdependent infrastructure systems: with a focus on joint restoration modeling and analysis [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2015, 141: 74-82.
[42] Wang S, Hong L, Ouyang M, et al. Vulnerability analysis of interdependent spatially embedded infrastructure networks under localized attack [J]. International Journal of Modern Physics C, 2017, 28(8): 1750089.
[43] Wang N, Wu M, Yuen K F. A novel method to assess urban multimodal transportation system resilience considering passenger demand and infrastructure supply [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2023, 239: 109478.
[44] UNDRR. Addressing the infrastructure failure data gap: a governance challenge [R]. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2021.
[45] Ouyang M, Hong L, Mao Z J, et al. A methodological approach to analyze vulnerability of interdependent infrastructures [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2009, 17(5): 817-828.
[46] Beyza J, Ruiz-Paredes H F, Garcia-Paricio E, et al. Assessing the criticality of interdependent power and gas systems using complex networks and load flow techniques [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2020, 540: 123169.
[47] Wang N, Wu M, Yuen K F. A novel method to assess urban multimodal transportation system resilience considering passenger demand and infrastructure supply [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2023, 238: 109478.
[48] Loggins R A, Wallace W A. Rapid assessment of hurricane damage and disruption to interdependent civil infrastructure systems [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2015, 21(4): 04015005.
[49] Lee S, Choi M, Lee H S, et al. Bayesian network-based seismic damage estimation for power and potable water supply systems [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2020, 197: 106796.
[50] Kays H M I, Sadri A M, Muraleetharan K K M, et al. Modeling flood propagation and cascading failures in interdependent transportation and stormwater networks [J]. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2025, 48: 100741.
[51] Zhang W, Han Q, Shang W L, et al. Seismic resilience assessment of interdependent urban transportation-electric power system under uncertainty [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2024, 183: 104078.
[52] Fang Y P, Zio E. An adaptive robust framework for the optimization of the resilience of interdependent infrastructures under natural hazards [J]. European Journal of Operational Research, 2019, 276(3): 1119-1136.

[53] Wang K, Xu Z, Liu Y, et al. Resilience enhancement for multistate interdependent infrastructure networks: from a preparedness perspective [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2023, 72(1): 190-203.
[54] Li Y, Lin J, Zhang C, et al. Joint optimization of structure and protection of interdependent infrastructure networks [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2022, 218: 108163.
[55] Zhang C, Liu X, Jiang Y P, et al. A two-stage resource allocation model for lifeline systems quick response with vulnerability analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250(3): 855-864.
[56] Zhang C, Kong J, Simonovic S P. Restoration resource allocation model for enhancing resilience of interdependent infrastructure systems [J]. Safety Science, 2018, 102: 169-177.

ترجمة بمساعدة الذكاء الاصطناعي