引文格式：唐敏文,戴吾蛟,欧景雯,等. 基于区块链的国土空间规划传导体系实现方法[J]. 地理空间信息, 2026, 24(2):37-43. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.02.008

# 基于区块链的国土空间规划传导体系实现方法

唐敏文[1,2]，戴吾蛟[1]，欧景雯[2]，陈光辉[2]，崔海波[2]
（1. 中南大学 地球科学与信息物理学院，湖南 长沙 410012；2. 长沙市规划信息服务中心，湖南 长沙 410221）

**摘　要：**国土空间规划传导体系对于确保成果数据的一致性和要素传递的有效性至关重要。然而，现行传导体系多以规划编审为主、监督为辅，对政策标准依赖较强，受人为因素影响较大，这限制了传导体系的实施效果和约束能力。区块链技术具有难以篡改、全程留痕、公开透明等技术特性，与国土空间规划传导体系的应用场景高度契合。本研究创新性地将区块链技术应用于国土空间规划领域，设计了基于该项技术的国土空间规划数据结构、共识算法和智能合约，构建了能够自动校验并有效传导监测指标和管控界线的技术方法。在长沙市的实践探索中，本研究提出的方法得到了有效验证，展现出显著优势，证明了区块链技术在国土空间规划领域的应用潜力和广阔前景。

**关键词：**国土空间规划；传导体系；区块链；共识算法；智能合约
**中图分类号：**P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）02-0037-07

# Territorial Spatial Planning Transmission System Implementation Method Based on Block Chain

TANG Minwen[1,2], DAI Wujiao[1], OU Jingwen[2], CHEN Guanghui[2], CUI Haibo[2]
(1. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410012, China;
2. Changsha Urban Planning Information Service Center, Changsha 410221, China)

**Abstract:** The territorial spatial planning transmission system is crucial for ensuring the consistency of outcome data and the effectiveness of element transmission. However, the current system primarily relies on planning review and supervision, with a strong dependence on policy guidelines and significant human factor influence, which greatly limits its effectiveness and constraint capacity. Block chain technology, with its immutability, traceability, and transparency, offers a solution to these challenges by closely aligning with the requirements of the territorial spatial planning transmission system. In this study, we innovatively introduced block chain technology into the territorial spatial planning, developed data structures, consensus algorithms, and smart contracts based on this technology, and constructed a technical method that could automatically verify and effectively transmit monitoring indicators and control boundaries. During practical exploration in Changsha City, the proposed method was effectively validated, demonstrating significant advantages. The findings indicate that block chain technology enhances the efficiency of territorial spatial planning transmission, demonstrating the potential and broad prospects of block chain technology in territorial spatial planning and related fields.

**Key words:** territorial spatial planning, transmission system, block chain, consensus algorithm, smart contract

国土空间规划涵盖“五级三类”，是一个多层级、多类型、多维度的复杂体系，主要用于从国家到地方各级各类的空间管控与协调，具有极强的政策传导属性[1-6]。现行传导体系的有效实施通常以国土空间规划编审为主、监督为辅的方式予以保障，对制度执行的依赖程度、细致程度和及时程度要求较高[7]。

区块链技术由 Nakamoto[8]在 2008 年首次提出，是一种基于“区块”构建的“链”式共享数据库结构。该技术具备难以篡改、全程留痕和过程可溯等特点，早期主要作为比特币等数字货币的底层技术使用。随着智能合约的引入，以及跨链交互和链下交互等技术的发展[9]，区块链技术的应用领域不断拓展，并逐渐在国土空间规划、土地资源管理和智慧城市建设等领域受到广泛关注[10-22]。然而，具体如何基于区块链技术构建自上而下、协调统一、难以篡改的国土空间规划传导体系，仍然缺乏具有实际指导意义的理论研究和实践探索。同时，区块链技术在国土空间规划领域应用时，其自身存在的区块容量限制、数据冗余显著、共识算法低效以及数据吞吐量低等问题，也制约了该项技术在相关领域的实际应用。

本研究针对上述具体问题和应用需求，将区块链技术引入国土空间规划领域。通过创新设计国土空间规划数据结构、共识算法和智能合约等，旨在突破区块链技术自身的技术瓶颈，从监测指标和管控界线两

第一作者简介：唐敏文（1982—），博士，高级工程师，注册城乡规划师，研究方向为国土空间规划、自然资源领域信息化应用研发及“数字政府”建设，E-mail：tangmw@csu.edu.cn。

个方面出发，研究构建一套自动校验、统一协调、难以篡改的国土空间规划传导体系。

## 1 国土空间规划传导体系研究

国土空间规划的有效实施依赖于监测指标和管控界线的传导。监测指标的传导确保了空间政策目标在不同层级、不同类型规划间的准确实现，而管控界线的传导则保障了规划空间布局和用途管制在各级各类规划中的一致性和协调性。本研究聚焦于上述2个方面，共同构建了“五级三类”国土空间规划传导体系，为国土空间规划的科学制定和有效实施提供了坚实基础。

### 1.1 国土空间规划监测指标传导体系研究

在国土空间规划传导体系中，监测指标是确保其有效实施与合理评估的核心内容之一。在当前成果体系下，国土空间规划需在国、省、市、县、乡多个层级间自上而下进行传导。基于“可对标、可测度、可感知、可落实”的基本原则，本研究构建了覆盖“五级三类”国土空间规划的监测指标传导体系。

在国土空间总体规划层面，传导体系可分为5种传导情形。五级传导监测指标共6项，在国、省、市、县、乡五级规划成果间自上而下传导。以此类推，形成四级传导监测指标共3项、三级传导监测指标共13项、二级传导监测指标共10项，以及非传导性各层级特有指标共22项。除五级传导监测指标外，其他具有传导性的监测指标均可跨层级传导。根据各类监测指标的刚性传导程度，可将其进一步分为约束性指标、预期性指标和建议性指标。其中，约束性指标是为实现国土空间规划目标，在规划期内不得突破或必须实现的指标；预期性指标是按照经济社会发展预期，在规划期内努力实现或不突破的指标；建议性指标是可根据地方实际需要选取的监测指标，由地方在编制国土空间规划时自行提出。在上位国土空间总体规划向下传导的过程中，各项监测指标应包括上位国土空间规划、本级国土空间规划和下位国土空间规划的规划基期值、近期规划值、远期规划值。监测指标在传导过程中应做到一一对应、环环相扣、逻辑自洽。

在建立国土空间总体规划传导体系的基础上，一方面将国土空间总体规划的各项监测指标要求进行专项传导，指导并约束国土空间专项规划的编制、实施、监测、评估、优化等全过程工作；另一方面将国土空间总体规划与专项规划相结合的各项监测指标要求进一步落实到国土空间详细规划的全过程工作中，指导并约束工程建设项目审批、实施等国土空间用途管制过程[23]。

### 1.2 国土空间规划管控界线传导体系研究

国土空间规划管控界线是规划实施中的核心要素，以“三区三线”、城市“四线”等各级各类空间管控要求为主体，与监测指标体系相辅相成。本研究采用15 min生活圈的空间和人口尺度来构建基本单元空间框架，并将其作为独立图层进行存储、管理和使用。同时，将国土空间规划图形数据的各个图层按照统一的空间尺度进行网格化划分和管理。

管控界线的传导与审批事权相对应，遵循“一级事权、一级管控”的原则，自上而下分级构建，逐级强化保护与开发要求，逐级细化空间边界，逐级明确底线与上限。本研究以“三区三线”、城市“四线”为基本空间管控要素，结合地方特色，构建面向全域全要素的管控界线传导体系。该体系主要应用于国土空间规划的编制、审查、实施过程，通过判断传导对象是否符合“三区三线”的准入或禁入要求、是否满足上位国土空间规划的空间管控要求、是否协调相邻或相关国土空间规划的空间管控要求等，配套相关属性指标，实现各级各类国土空间规划间的管控界线自动校验和逐级传导。根据事权分配，管控界线传导可分为刚性和弹性2种主要类型（见表1）。

## 2 基于区块链的国土空间规划传导体系实现

本研究选用Hyperledger Fabric 2.0技术框架，依据国土空间规划传导体系，通过研究应用框架、运行逻辑、数据结构、共识算法和智能合约等方面，构建能够自动校验并有效传导国土空间规划监测指标和空间管控要求的技术方法，旨在提升规划传导的准确性、统一性和协调性。

### 2.1 基于区块链的国土空间规划传导体系技术瓶颈

区块链技术在构建协调统一、实时联动的国土空间规划传导体系等方面具有高度的契合性。然而，受限于实现方法、关键指标和运行机制，将区块链技术应用到国土空间规划领域面临着区块存储容量有限、数据存储冗余显著、共识算法效率不高以及数据吞吐效率偏低等诸多挑战和技术瓶颈。

### 2.2 基于区块链的国土空间规划应用框架与运行逻辑

本研究基于自然资源专网环境，构建面向国土空间规划的区块链应用网络。为满足国土空间规划编制、审批、核验等角色设置需求，该网络遵循Hy-

表1　国土空间规划管控界线分级传导体系

| 类型 | 传导要素 | 传导规则 |
| --- | --- | --- |
| 刚性传导 | 城镇开发边界（属于“三区三线”），对应国土空间规划中的城镇空间，是在一定时期内因城市、建制镇及各类开发区发展需要，可以集中进行开发建设、重点完善其功能的区域边界。 | 本级城镇开发边界必须位于上位国土空间规划城镇开发边界范围以内，按照明确划定的管控界线精准传导，并通过拓扑分析校核其传导的有效性和准确性。 |
| | 永久基本农田保护红线（属于“三区三线”），对应国土空间规划中的农业空间，是按照一定时期人口和经济社会发展对农产品的需求，确定的不得擅自占用或改变用途的耕地边界。 | 本级永久基本农田保护红线必须与上位国土空间规划永久基本农田保护红线范围保持一致，按照明确划定的管控界线精准传导，并通过拓扑分析校核其传导的有效性和准确性。 |
| | 生态保护红线（属于“三区三线”），对应国土空间规划中的生态空间，是以重要生态功能区、生态敏感区和生态脆弱区为重点划定的实施强制性保护的空间边界。 | 本级生态保护红线必须与上位国土空间规划生态保护红线范围保持一致，按照明确划定的管控界线精准传导，并通过拓扑分析校核其传导的有效性和准确性。 |
| | 城市紫线，即城市中各类历史文化遗产与风景名胜资源保护控制线，包括国家级、省级历史街区保护范围和区级以上历史建筑的保护范围；城市黄线，即城市中重大基础设施用地影响范围，采用重大基础设施控制线进行管控；城市绿线，即城市中各类绿地控制线，主要包括以市级公园为主体的部分；城市蓝线，即城市中各类水域控制线，主要包括以主干河流等水系为主体的部分。 | 为强制性管控界线，是城市“四线”中的刚性传导部分，必须按照明确划定的管控界线精准传导，并通过拓扑分析校核其传导的有效性和准确性。 |
| | 其他应刚性传导的管控界线，即根据国土空间规划所在地的城市特征和属性，按照国家相关标准规范需要刚性传导的管控界线。以长沙市为例，作为首批国家历史文化名城，应将其历史文化保护控制线进行刚性传导。 | 该项传导应根据历史文化名城保护相关专项规划要求，按照明确划定的管控界线精准传导，严格遵守准入、禁入规则，并通过拓扑分析校核其传导的有效性和准确性。 |
| 弹性传导 | 城市绿线，即城市中各类绿地控制线，包括区级公园、交通防护绿地、工业与居住组团隔离带、区级以上市政设施防护绿地等；城市蓝线，即城市中各类水域控制线，包括主干河流以外的主要河流、重要湖泊、大中型水库、重要连通渠等主要地表水体线。 | 为非强制性管控界线，是城市“四线”中的弹性传导部分，可在“规模不减、总量不降”的原则下，依据城市建设发展的需要对其界线进行细微调整，并通过拓扑分析和指标计算校核其传导的有效性和准确性。 |

perledger Fabric 2.0技术框架构建，包含排序节点、组织节点、网络通道以及部署其上的应用程序、智能合约、分布式账本数据库和CA认证等部分（见图1）。

基于区块链应用网络，本研究进一步构建了基于共识算法和智能合约的国土空间规划数据上链机制（见图2）。该机制具体包含提案和背书、排序和打包、验证和提交3个阶段。其中，提案和背书、验证和提交阶段是区块链网络运用共识算法和智能合约实现国土空间规划传导的关键环节。以下选取组织节点 $P_1$ 作为提案发起的用户节点，阐述数据上链机制各阶段的运行逻辑。

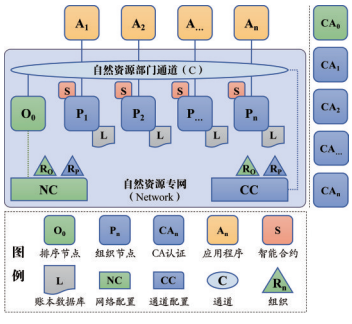



图1　基于区块链的国土空间规划应用框架设计

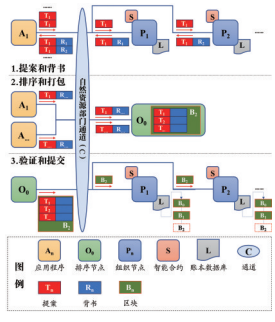



图2　基于区块链的国土空间规划应用网络运行逻辑

1）提案和背书阶段。组织节点 $P_1$ 根据上链存储国土空间规划数据的需要，通过部署在其上的应用程序 $A_1$ 发起提案 $T_1$，并通过通道 $C$ 发送至区块链网络中的其他组织节点。该提案由结构化或非结构化数据的基本单元组成，包含关键属性数据、界址点数据或文件MD5码信息。接收到该提案的组织节点依据预设在智能合约 $S$ 上的共识算法验证数据内容。共识算法采用监测指标、管控界线传导规则模型等，替代基于算力贡献的工作量证明（proof of work，PoW）算法等共识机制，实现国土空间规划传导体系的自动化和智能化，在大幅降低共识过程算力消耗的同时提升共识验证效率。完成共识验证后，这些组织节点将验证结果和身份认证等附加至提案中，表明是否认可提案内容，并反馈至发起提案的组织节点 $P_1$，完成提案背书 $R_1$。当所有节点均认可提案内容时，意味着区块链网络对当前提案中的数据上链存储和有效传导达成共识，执行下一阶段操作；反之，则无法达成共识，不予继续执行。

2）排序和打包阶段。组织节点 $P_1$ 将达成共识的提案 $T_1$ 提交至排序节点 $O_0$。排序节点 $O_0$ 将同一周期内接收到的提案按照时间顺序进行排序，并打包进区块结构 $B_2$，其中所存储的国土空间规划数据已满足上链存储及有效传导的要求。该区块结构通过通道 $C$ 发送至区块链网络中的所有组织节点，以执行下一阶段操作。区块结构中存储的提案数量取决于区块容量（Block Size）和打包周期（Batch Timeout）等配置参

数。在此过程中，排序节点最终生成上链存储的区块结构，旨在有效避免分布式账本数据库 $L$ 产生分叉。

3）验证和提交阶段。组织节点在收到排序节点 $O_0$ 分发的区块结构后，各自独立处理并将其按顺序存储到分布式账本数据库 $L$ 的副本中，完成当次国土空间规划数据的上链存储和有效传导，并更新世界状态中相应数据的最新信息。在此过程中，排序节点和组织节点均需要再次验证区块结构中提案的背书情况，以进一步确保国土空间规划数据上链存储的合规性和规划传导的有效性。即当所有提案均获得有效背书时，组织节点才会完成数据的上链存储；反之，则拒绝上链存储。

### 2.3 基于区块链的国土空间规划数据结构设计

为适配 Hyperledger Fabric 2.0 技术框架对数据存储和有效传导的需求，本研究在充分利用现有国土空间规划数据库的基础上，引入了基于 15 min 生活圈构建的基本单元空间框架，对现有数据进行空间切分与组织，并重新设计了国土空间规划数据结构。该数据结构由区块链数据和世界状态两部分构成（见图 3），采用实际存储与关联存储相结合的方式存储和管理国土空间规划数据。

区块链数据负责完整记录链上存储数据的全部变更情况，确保区块链网络对所有数据具有追溯能力。这些信息被汇总并存储在区块链的区块结构中，并通过链式结构依次关联。每个区块结构由区块头（$H_n$）、区块体（$D_n$）和区块元数据（$M_n$）3 个部分组成。区块头包含区块编号（即区块高度）、当前区块哈希值和上一区块哈希值，形成区块链式结构所需的哈希指针。区块体包含一个或多个提案数据及其背书情况，用于实际或关联存储国土空间规划数据，并记录区块链数据的有效性验证结果。区块元数据则包括本区块结构创建组织节点的证书和签名等，用于辅助证明规划传导的有效性。

世界状态与区块链数据相配套。与区块链数据全程留痕的存储方式不同，世界状态仅保存并维护区块链上每项数据的最新信息，而不会记录这些数据完整的历史变更情况，是区块链当前状态和数据信息的快照。通过世界状态，用户节点能够快速访问链上存储的国土空间规划数据最新信息，而无需回溯整个链式结构。当世界状态数据表损坏或丢失时，区块链网络可以通过回溯区块链的链式结构，遍历所有数据的历史变更情况，快速修复或重建世界状态数据表，并能够确保其数据内容的准确性和完整性。这种数据结构

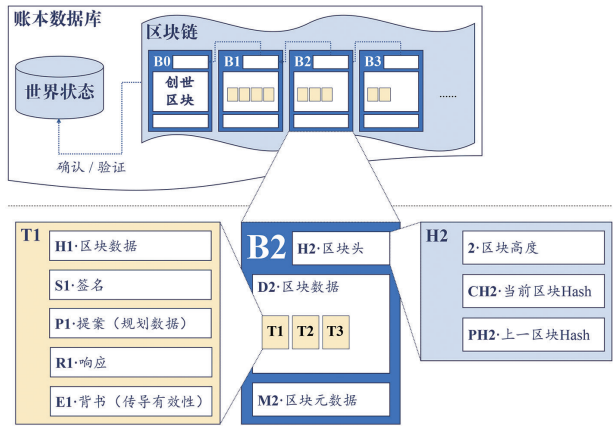



图 3 基于区块链的国土空间规划数据结构设计

大幅提升了用户节点对链上存储数据的访问效率，显著提高了数据查询的响应速度，能够满足国土空间规划领域大多数应用场景中快速、高频访问链上数据当前信息的实际需求。

### 2.4 基于区块链的国土空间规划传导体系智能合约实现方法

智能合约是一种能够在满足预设条件时自动执行且具有图灵完备性的程序代码，它与共识算法协同工作。在本研究的应用场景中，智能合约作为共识算法的必要组成部分，在共识验证过程中被触发执行，具体参与共识过程并辅助共识的达成。智能合约是确保国土空间规划传导体系准确性和一致性的具体方式，通过编码实现监测指标、管控界线传导规则模型，对国土空间规划进行自动校验与有效传导。

1）基于智能合约的监测指标传导实现。以国土空间规划的约束性、预期性和建议性三类指标为基础建立共识算法，并编码智能合约。根据国土空间规划“五级三类”成果体系，在上位规划向本级规划的传导校验中，提取上位国土空间规划和本级国土空间规划的规划基期值、近期规划值、远期规划值，分别定义为 $I_{\text{upper}}$ 和 $I_{\text{local}}$，见式（1）。当监测指标为上限控制类型时，按照式（2）所述的约束条件进行数值校验，确保上位规划监测指标分解值向本级规划监测指标传导时的协调性和一致性。

$$\begin{cases} I_{\text{upper}} = \left\{ i_{\text{upper, baseline}},\ i_{upper,\text{short-term}},\ i_{\text{upper, long-term}} \right\} \\ I_{\text{local}} = \left\{ i_{\text{local, baseline}},\ i_{\text{local,short-term}},\ i_{\text{local, long-term}} \right\} \end{cases} \tag{1}$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} i_{\text{local, baseline,j}} \leqslant \alpha \cdot i_{\text{upper, baseline}} \\ \sum_{j=1}^{n} i_{\text{local, short-term,j}} \leqslant \alpha \cdot i_{\text{upper, short-term}} \\ \sum_{j=1}^{n} i_{\text{local, long-term,j}} \leqslant \alpha \cdot i_{\text{upper, long-term}} \end{cases} \tag{2}$$

式中，$n$ 为本级国土空间规划中的子区域数量；$j$ 为第 $j$ 个子区域，子区域的划分可以与基本单元一致。$a$ 为弹性因子，当约束性指标刚性传导时，弹性因子取值为1，若存在违规情形则监测指标传导无效；当预期性指标和建议性指标弹性传导时，需要综合考量地方发展特色和本级政府需求确定弹性因子取值，若触及弹性空间则监测指标传导视为有效并进行预警提醒，但若存在违规情形则监测指标传导无效。当监测指标为下限控制类型时，约束条件则相反。

在本级规划的校验中，针对可通过管控界线计算校验的监测指标，本研究将本级国土空间规划图形数据中同一图层的所有图斑定义为 $P_{\text{local}}$，见式（3）。计算其规划基期面积、近期规划面积、远期规划面积，并根据式（4）进一步校验该类型监测指标数值的正确性和一致性。

$$P_{\text{local}}=\left\{p_{\text{local, baseline}},\ p_{\text{local, short-term}},\ p_{\text{local, long-term}}\right\} \tag{3}$$

$$\begin{cases} i_{\text{local, baseline}}=\sum_{k=1}^{m}\text{Area}\left(p_{\text{local, baseline, k}}\right) \\ i_{\text{local, short-term}}=\sum_{k=1}^{m}\text{Area}\left(p_{\text{local, short-term, k}}\right) \\ i_{\text{local, long-term}}=\sum_{k=1}^{m}\text{Aera}\left(p_{\text{local, long-term, k}}\right) \end{cases} \tag{4}$$

式中，$m$ 为本级国土空间规划中图形数据的基本单元数量；$k$ 为第 $k$ 个基本单元。

在本级规划向下位规划的传导校验过程中，需要进一步提取相应下位国土空间规划的规划基期值、近期规划值和远期规划值。共识算法的建立和智能合约的编码，应按照式（1）和式（2）的逻辑组织完成。

2）基于智能合约的管控界线传导实现。以“三区三线”、城市“四线”为基本空间管控要素，建立共识算法，并编码智能合约。按照国土空间规划“五级三类”成果体系，以基本单元为校验对象，提取其范围内本级国土空间规划中各图层的图斑数据及其类型属性，定义为一个包含 $n$ 个图斑的二维数据集 $P_{\text{local}}$，见式（5），式中 $t_{p,i}$ 为图斑类型。逐一校验数据集中任一元素与“三区三线”、城市“四线”和其他管控界线准入、禁入等空间管控规则的符合性。刚性传导规则定义为 $R_{\text{rigid}}$，包含 $m$ 个要素，见式（6），式中 $t_{\text{rigid},j}$ 为表要素类型。在该类传导过程中，本级国土空间规划校验图斑必须在同类空间管控要素空间范围以内，见式（7）。若存在违规情形，则管控界线传导无效。弹性传导规则定义为 $R_{\text{flex}}$，包含 $l$ 个要素，见式（8），式中 $t_{\text{flex},k}$ 为要素类型、$\alpha_k$ 为弹性因子。在该类传导过程中，本级国土空间规划校验图斑可根据式（9）允许一定面积的空间突破，突破幅度依据弹性因子确定，且不得违背其他刚性传导要素的禁入空间管控规则。符合上述要求时，即使存在空间突破的情形，管控界线传导仍视为有效，并进行预警提醒；否则，管控界线传导无效。该过程依次循环进行，直至完成所有基本单元的管控界线分级传导校验。当且仅当所有校验结果均为管控界线传导有效时，本级国土空间规划管控界线传导方为有效。

$$P_{\text{local}}=\begin{bmatrix} p_{\text{local, 1}} & t_{p,1} \\ p_{\text{local, 2}} & t_{p,2} \\ \vdots & \vdots \\ p_{\text{local, }n} & t_{p,n} \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$R_{\text{rigid}}=\begin{bmatrix} r_{\text{rigid, 1}} & t_{\text{rigid, 1}} \\ r_{\text{rigid, 2}} & t_{\text{rigid, 2}} \\ \vdots & \vdots \\ r_{\text{rigid, }m} & t_{\text{rigid, }m} \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$V_{\text{rigid},ij}=\begin{cases} \text{Success, if } t_{p,i}\subseteq t_{\text{rigid},j} \text{ and } p_{\text{local, }i}\subseteq r_{\text{rigid},j} \\ \text{Success, if } t_{p,i}\nsubseteq t_{\text{rigid},j} \text{ and } p_{\text{local, }i}\nsubseteq r_{\text{rigid},j} \\ \text{Failure, Otherwise} \end{cases} \tag{7}$$

$$R_{\text{flex}}=\begin{bmatrix} r_{\text{flex, 1}} & t_{\text{flex, 1}} & \alpha_1 \\ r_{\text{flex, 2}} & t_{\text{flex, 2}} & \alpha_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{\text{flex, }l} & t_{\text{flex, }l} & \alpha_l \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$V_{\text{flex},ik}=\begin{cases} \text{Success, if } t_{p,i}\subseteq t_{\text{flex},k} \text{ and } \dfrac{\text{Area}\left(p_{\text{local, }i}\cap r_{\text{flex},k}\right)}{\text{Area}\left(p_{\text{local, }i}\right)}\geqslant\alpha_k \\ \text{Success, if } t_{p,i}\nsubseteq t_{\text{flex},k} \text{ and } p_{\text{local, }i}\nsubseteq r_{\text{flex, }k} \\ \text{Failure, Otherwise} \end{cases} \tag{9}$$

## 3　以长沙市为例实践探索传导体系应用

### 3.1　基于区块链的长沙市国土空间规划传导体系应用构建

依托长沙市自然资源专网，构建由1个排序节点和10个组织节点组成的国土空间规划区块链应用网络，覆盖长沙市全域的“六区、两市、一县”。

1）在空间框架方面，按照15 min生活圈的空间和人口尺度，从空间上将长沙市域划分为1 125个基本单元，对现有国土空间规划中的控制性详细规划成果进行网格化划分，并与“三区三线”等各类数据进行关联，以构建区块链应用的数据基础。

2）在传导体系方面，选取32项用于各级传导的国土空间规划监测指标，以及“三区三线”、城市“四线”和长沙市作为首批国家历史文化名城特有的

历史文化保护控制线作为管控界线，构成区块链应用的传导要素。

3）在应用系统方面，依据《国土空间规划“一张图”实施监督信息系统技术规范》（GB/T 39972–2021）的相关要求，将区块链技术引入现有成果，研发国土空间规划“一张图”实施监督信息系统。该系统包括国土空间规划“一张图”应用、国土空间分析评价、国土空间规划成果审查与管理、国土空间规划实施监督、指标模型管理、社会公众服务以及区块链管理等7个模块。其中，区块链管理模块相对独立，采用接管原系统数据交换的方式，通过智能合约预设条件自动触发国土空间规划“一张图”应用、国土空间规划成果审查与管理以及国土空间规划实施监督等模块中与监测指标和管控界线传导相关的各项业务。

在应用系统的试运行过程中，本研究以覆盖长沙市全域的控制性详细规划成果校验和上链存储为例进行实践验证。通过数据归集、要素提取、传导校验、区块生成和上链存储等多个环节，顺利产生并成功存储结构化数据区块141个（覆盖1 125个基本单元）和非结构化数据区块766个（包含6 127个成果文件），共涉及相关国土空间规划成果的45.03万个属性数据和2.58万个界址点数据。通过智能合约，共计完成监测指标、管控界线传导校验39.27万次，其传导结果与预期一致，满足国土空间规划既定传导要求。

### 3.2 基于区块链的长沙市国土空间规划传导体系效能分析

本研究将长沙市控制性详细规划数据成功上链存储，实现了从总体规划到详细规划的有效传导。上链数据包括结构化数据461.13 MB（属性数据70.98 MB，界址点数据390.15 MB）及非结构化数据42.06 GB。

1）在区块容量与数据冗余方面，共产生结构化区块141个、非结构化区块766个。单用户节点占用存储空间分别为124.80 MB和3.74 MB，平均区块容量为0.89 MB和5.00 KB，均符合区块链存储限制。结构化数据冗余率为21.30%，非结构化数据为0.01%，整体冗余率仅0.29%。

2）在共识算法与数据吞吐效率方面，数据自动校验及上链总用时43 min 32 s，共识算法效率达150.33次/s，等效数据吞吐效率为12.21条/s，区块生成速率为20.83个/min。通过优化共识机制，将依赖算力消耗调整为针对监测指标与管控界线的校验，显著降低算力的消耗，提升效率。

综上可知：与比特币网络对比，本研究平均区块容量（低于0.89 MB）更优，适应了国土空间规划大数据量需求；存储冗余率（低于21.30%）优于比特币的完全冗余，并扩展了链下数据关联能力；共识算法效率、区块生成速率及等效数据吞吐效率均显著优于比特币。此外，本系统仅需39.27万次共识校验即可完成全部数据上链，远低于比特币网络的高算力需求。

该实践验证了区块链在保障国土空间规划数据规范、程序合法及指标、空间维度协调统一方面的技术优势，通过智能合约与共识算法实现了规划数据的实时校验与有效传导。

## 4 结 语

本研究围绕监测指标和管控界线，构建了面向国土空间规划“五级三类”成果传导体系的技术思路、数学模型及实现方法。创新性地引入区块链技术，设计了应用框架、运行逻辑和数据结构，通过智能合约实现自动校验与传导。在长沙市的实践案例中，克服了区块链技术的局限性，证明了其在国土空间规划传导中的可行性和有效性，为构建基于区块链的国土空间规划传导体系提供了理论依据和实践路径。随着技术发展，研究成果将推动区块链在国土空间规划全过程管理中的全面应用，拓展其在多领域的探索与实践，带来创新和价值。

## 参考文献

[1] 周敏,林凯旋,王勇. 基于全链条治理的国土空间规划传导体系及路径[J]. 自然资源学报,2022,37(8):1975-1987

[2] 李晓晖,詹美旭,李飞,等. 面向实施的市级国土空间规划传导思路与技术方法[J]. 自然资源学报,2022,37(11):2789-2802

[3] 李莉,左玉强. 省级国土空间规划传导体系构建及运行机制研究[J]. 上海城市规划,2021,30(3):42-47

[4] 王世磊,曲衍波,宗海柠,等. 市域国土空间格局多维度分解与传导路径[J]. 自然资源学报,2022,37(11):2803-2818

[5] 陈川,徐宁,王朝宇,等. 市县国土空间总体规划与详细规划分层传导体系研究[J]. 规划师,2021,37(15):75-81

[6] 余晓敏,闵梦然,祁玉杰. 湖北省国土空间规划监测评估预警指标体系研究[J]. 地理空间信息,2024,22(2):44-47

[7] 肖昶,李江,余晓敏,等. 省级国土空间规划“一张图”建设思考[J]. 地理空间信息,2023,21(1):41-45

[8] Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System[BD/OL]. (2008-10-31) [2024-12-13]. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

[9] Liu F, He S H, Li Z H, et al. An Overview of Blockchain Effcient Interaction Technologies[J]. Front Blockchain, 2023,6:996 070

[10] Alam K M, Rahman J M A, Tasnim A, et al. A Blockchain-based Land Title Management System for Bangla-

desh[J]. J King Saud Univ-comput Inf Sci, 2022, 34(6): 3096-3110

[11] Krishnapriya S, Sarath G. Securing Land Registration Using Blockchain[J]. Procedia Computer Science, 2020, 171: 1708-1715

[12] Luba E, Anton M, Li B Z. Use of Blockchain Technology in Planning and Management of Transport Systems[J]. E3S Web of Conferences,2020,157(4):04014

[13] Ooi V, Peng S K, Soh J. Blockchain Land Transfers: Technology, Promises, and Perils[J]. Computer Law & Security Review,2022,45:105672

[14] Stefanovic M, Przulj D, Ristic S, et al. Smart Contract Application for Managing Land Administration System Transactions[J]. IEEE Access,2022,10:39154-39176

[15] Thakur V, Doja M N, Dwivedi Y K, et al. Land Records on Blockchain for Implementation of Land Titling in India[J]. International Journal of Information Management, 2020,52:101940

[16] 曹先,张恒,高旭,等. 基于区块链的智慧城市时空大数据平台相关研究[J]. 规划师,2020,36(24):46-51

[17] 闵梦然,余晓敏,祁玉杰. 区块链在自然资源管理中的探讨[J]. 地理空间信息,2020,18(6):130-131

[18] Bao Y, Gui Z M, Sun Z X, et al. Spatial Blockchain: Enhancing Spatial Queries and Applications Through Integrating Blockchain and Spatial Database Technologies[J]. Electronics,2023,20(12):4287

[19] Ansah B O, Voss W, Asiama K O, et al. A Systematic Review of the Institutional Success Factors for Blockchain-based Land Administration[J]. Land Use Policy, 2023,125:106473

[20] 郑远,侯剑,李政,等. 区块链技术在国土空间规划管理中的应用探索[J]. 资源与人居环境,2022,35(3):25-32

[21] 贾文珏,李泽慧. 区块链技术在自然资源管理中的应用初探[J]. 国土资源信息化,2020,19(4):3-8

[22] 田燕,易俊博,易国州. 区块链应用于国土空间规划管理的战略研究[C]//2019中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用),2019

[23] 陶荣,肖昶,徐雯,等. 空间治理视角下国土空间规划与用途管制衔接制度研究[J]. 地理空间信息,2024,22(5):14-18

(上接第19页)

导航精度和可靠性。

2）在GNSS信号失锁情况下，只有INS正常工作，导航位置误差显著增大，在N、E、U方向RMS值分别为5.52、6.44、9.67 m，STD值分别为4.55、4.92、5.57 m。采用REF神经网络模型对INS导航误差进行修正，此时导航在N、E、U方向RMS值分别为2.25、2.36、3.01 m，STD值分别为2.14、2.20、2.84 m。

3）在GNSS信号失锁情况下，只有INS正常工作，导航速度误差显著增大，在N、E、U方向RMS值分别为0.126、0.137、0.144 m/s，STD值分别为0.111、0.129、0.136 m/s。采用REF神经网络模型对INS导航误差进行修正，此时导航在N、E、U方向RMS值分别为0.068、0.074、0.076 m/s，STD值分别为0.060、0.071、0.073 m/s。

4）通过REF神经网络模型对INS导航误差进行修正，其导航位置精度由十米及提升至米级，且在N、E、U方向RMS值分别提升了59.24%、63.35%、68.87%；速度误差在N、E、U方向RMS值分别提升了46.03%、45.99%、47.22%

## 参考文献

[1] 肖圳,韩保民,薛树强,等. 多天线GNSS/声学测距组合定位优化模型[J]. 导航定位学报,2024,12(5):98-105

[2] 侯雪,张献志,叶远斌. 基于GDCORS的北斗终端高精度定位算法实现及性能分析[J]. 地理空间信息,2024,22(8):72-75

[3] 王秀境,肖建华,刘岑俐,等. 基于改进的卡尔曼滤波无人机抗欺骗BDS导航方法[J]. 电力大数据,2022,25(4):1-8

[4] 杨世超. BDS-3三频PPP收敛速度与定位精度分析[J]. 地理空间信息,2023,21(6):79-81

[5] 赖路广,赵冬青,李林阳,等. 城市环境下多系统PPP/INS定位测速性能分析[J]. 导航定位学报,2024,12(5):89-97

[6] 吴庆,刘长建,肖国锐,等. 不同情形下GNSS/INS组合导航系统精度分析[J]. 测绘科学技术学报,2024,40(4):348-354

[7] 谢晴,张全,章红平,等. 基于MEMS IMU的GNSS RTK/INS紧组合定位分析[J]. 测绘通报,2024(1):89-95

[8] 韩厚增. 惯导辅助BDS/GPS高精度动态定位模型研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2017

[9] 周涛,邹进贵,赵胤植,等. 附加UWB约束的GNSS/INS组合导航算法[J]. 测绘通报,2024(11):78-82

[10] 闫世霖,吴德伟,王伟,等. 循环神经网络辅助GNSS/SINS组合导航方法及性能分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2021,22(5):61-66

[11] 孙洪驰,穆荣军,杜华军,等. 基于BP神经网络辅助的惯性/天文组合导航方法[J]. 中国惯性技术学报,2019,27(4):486-491

[12] 祝浩祈. 城市环境下车载GNSS/INS/LiDAR融合精密定位方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2023