

草原人居系统：内涵特征、构建框架与发展方向

张鹏举¹, 王志强^{1*}, 雷振东², 狄彦强³, 荣丽华¹, 贺龙¹, 李佳¹, 何苗¹

(1. 内蒙古工业大学建筑学院, 呼和浩特 010051; 2. 西安建筑科技大学建筑学院, 西安 710055;
3. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

摘要: 草原人居环境建设事关国家生态安全、边疆民族地区稳定发展, 需要构建人居环境系统, 应对草原地区产业与生态平衡、发展与保护协同等方面的挑战。本文提出了草原人居系统概念, 支持研究草原地区的人、自然环境、社会经济等因素叠加形成的复杂系统; 阐释了草原人居系统的内涵特征与发展现状, 分析了草原人居系统建设面临的秩序有待重构、空间布局有待改善、适宜设计理论与方法缺乏、适宜低碳技术体系缺失等挑战; 构建了涵盖要素提取、层级关联、系统互适 3 个核心方面的研究框架, 提炼形成“三生一适洽”演化理论, 倡导“融自然-低建造-承传统”草原人居营建的新范式。研究建议, 推动草原牧区“生态-生产-生活”空间一体化发展, 构建适应草原牧区“自然-资源-社会”的建筑设计理论与方法, 建立适应当地严气候、弱经济、富资源背景的低碳牧区营建技术体系, 推动新时期草原人居建设高质量发展。

关键词: 草原人居系统; 导控要素; 层级结构; “三生”空间; 人居环境; 生态空间

中图分类号: TU21 **文献标识码:** A

Human Settlement System in Grasslands: Intrinsic Characteristics, Construction Framework, and Development Directions

Zhang Pengju¹, Wang Zhiqiang^{1*}, Lei Zhendong², Di Yanqiang³, Rong Lihua¹,
He Long¹, Li Jia¹, He Miao¹

(1. School of Architecture, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China; 2. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: The construction of human settlements in grasslands is critical for national ecological security and the stable development of ethnic minority areas in border regions. It is necessary to build a human settlement system to address challenges regarding the balance between industry and ecology as well as the coordination between development and protection of grasslands. This study proposes the concept of a human settlement system in grasslands, supporting the study of a complex system formed by factors such as human, nature, and social economy in grassland areas. It expounds on the connotative characteristics and development status of the human settlement system in grasslands and analyzes the challenges faced in constructing the system, including reconstruction of the structural order, improvement in spatial layout, creation of appropriate design theories and methods, and establishment of an appropriate low-carbon technology system. Moreover, the study establishes a research framework covering three core aspects, namely element extraction,

收稿日期: 2024-10-31; 修回日期: 2024-12-23

通讯作者: *王志强, 内蒙古工业大学建筑学院副教授, 研究方向为地域建筑设计、民居建造; E-mail: 473562965@qq.com

资助项目: 国家自然科学基金项目(U24A20160, 52408026, 52468013, 52468001)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

hierarchical association, and system adaptation, and creates an evolution theory where production, life, and ecology coordinate in the dimensions of integrality and adaptability. Additionally, it advocates a new paradigm of human settlement construction in grasslands that features integration with nature, low-intensity construction, and inheritance of tradition. Furthermore, the study suggests promoting the integrated development of ecological, production, and living spaces in grassland pastoral areas, creating architectural design theories and methods that adapt to the nature, resources, and society in grassland pastoral areas, and establishing a low-carbon pastoral area construction technology system that adapts to the harsh local climate, weak economy, and rich resources of the area, thereby promoting the high-quality development of human settlements in grasslands in the new era.

Keywords: grassland human settlement system; guiding and controlling elements; hierarchical structure; production, living, and ecological spaces; human settlement; ecological spaces

一、前言

草原地区在人口分布、生产生活、文化特征等方面集中体现了民族地区、生态脆弱区、经济欠发达区的典型特征，是我国重要的生态屏障和战略资源腹地。建设宜居宜业和美乡村，明显改善城乡人居环境，加快边疆地区发展，推进兴边富民、稳边固边等，成为国家的重要方针。以我国最大的草原牧区为例，内蒙古自治区地处我国北疆，被明确为“两个屏障、两个基地、一个桥头堡”的国家战略定位，肩负北方生态安全和国防安全重任。可以看出，草原人居环境建设事关国家生态安全和边疆民族地区稳定大局。面对艰巨的边疆建设任务、复杂多变的内外环境，需要系统实施草原地区的产业与生态平衡、发展与保护协同，更好支撑区域内人居环境的高质量发展。

在具有中国特色的人居环境科学理论^[1,2]提出后，逐步确立了以“五大原则、五大系统、五大层次”为核心^[3]的人居环境科学理论框架。其中，“五大系统”“五大层次”作为人居环境建设的基本要素，确立了人居环境的内容维度和级别维度，融贯形成了人居环境的研究领域^[4]：由“五大系统”生发的研究主题在生产、生活、生态（“三生”）协同的建设目标下，出现了由专门研究转向综合研究的趋势；在“五大层次”的基础上拓展为包括全球、国家、区域、城市、村镇、社区、建筑、地理网格在内的八大研究尺度^[5]。目前，国内形成了具有地域特征的系列化人居研究成果，构成了不同地理环境下人居环境的全貌：在应对城乡统筹、区域协调发展的内在研究逻辑下，既有成果集中在区域尺度层面^[6-11]；在生态文明的理念框架下，基于自然地理要素的整体性、完整性、连续性，以地理网格尺度^[12,13]来划分人居环境的研究尺度，形成了地理单元网格层面的人居环境系列研究成果^[14-21]。然

而，具有独特生态环境本底和生产生活方式的草原地区，依然是我国人居环境科学研究的“洼地”。地理网格尺度人居环境理论框架基本形成，人居环境容量、自然适宜性、聚落模式等实践也得到必要的论证，为草原人居环境研究提供了理论依据与应用示范。以草原地区为地理网格进行人居环境研究，具有必要性和紧迫性。

草原既是生态空间也是牧业生产空间，其中尺度相对较小的生活空间呈离散型布局，使牧区聚落与农业乡村的人居环境及建筑营建有显著差异。前期在生态修复、乡村振兴双重目标的驱动下，多以草原生态学为基础研究了草原牧区生态移民定居点及其周边的生态系统、草地系统^[22,23]，也探索了以牧区草原人居环境可持续建设为目标的定牧模式^[24]，涉及内蒙古草原、新疆草原、甘肃牧区、四川藏区、青海海北藏区、三江源地区等草原牧区。近年来，更多从草原的区域环境、聚落、建筑以及相关技术的层面出发，聚焦牧区“三生”空间的要素识别^[25,26]、时空演化^[27,28]、局部格局构建^[29]，定牧模式下牧区的人地与产居关系^[30,31]、土地利用^[32,33]与轮牧适宜性评价，牧区传统建筑原型解析、传承与实践^[34,35]，新型蒙古包的低碳化营建模式^[36]等问题开展研究。也要注意，现状研究呈片段化特征，整体上处于初步阶段，针对草原牧区人居环境及其建筑研究的系统性、营建理论与设计方法体系的完整性等均有不足；虽然草原环境、人居环境的相互影响备受关注，但两方面的协同进展仍显滞后。人居环境营建中多元主体的差异化诉求带来价值冲突，面向经济、文化、生态、社会等的多目标平衡成为重要趋势^[37]，因而需要将草原与人居环境耦合并作为1个复杂系统进行整合思考。

以人居环境科学研究为基础，提出草原人居系统概念，将草原地区人居环境作为叠加在人、自然环境、社会经济系统上的深度复杂系统进行整体研

究：从“三生”空间视角出发，理解和揭示传统游牧时期“人-地-草-畜”多维度的互相适应与动态平衡关系，探究“三生”协同的草原人居环境建设范式。相关内容既是对建设美丽中国这一重要目标的直接响应，也是推进草原地区人与自然和谐共生现代化的必然要求。为此，本文力求深层次剖析草原人居系统的内涵特征与面临挑战，构建相应框架体系并形成演化理论，探讨草原人居营建新范式并辨识主导发展方向，为草原人居环境的可持续发展、高质量建设提供理论支持与实践参考。

二、草原人居系统的内涵特征与发展现状

（一）草原人居系统的内涵特征

1. 基本概念

人居系统研究可以追溯到20世纪中叶提出的人类聚居学，强调将人类居住区的各尺度层级（如乡村、集镇、城市等）作为整体，对其中各类元素（如自然、人、社会、房屋、网络）进行广义的系统研究。我国学者提出了人居环境科学观念^[2]，建立了居住、支撑、人类、社会、自然五大系统相互影响与适应的系统模型，具有从理论到实践的进步意义。在人居环境科学的基础上，草原人居系统将草原与人居有机联系，以草原地区的人类聚居环境为研究对象，聚焦区域、聚落、建筑等尺度层级以及跨尺度范围内的自然生态子系统、社会文化子系统、经济产业子系统、地域空间子系统、营建技术子系统的多维互动适应（见图1）。

参照人居环境系统的研究划分^[38]，结合草原人居环境建设的目标导向，将草原人居系统分为功能、空间两个维度以及自然生态、社会文化、经济产业、地域空间、营建技术五大子系统。具体地，自然生态、经济产业、社会文化3个子系统属于功能系统，分别作为草原人居系统的物质基础、经济支撑、社会基础及文化内涵，是维持人居环境正常运转的主要环境；地域空间、营建技术2个子系统属于空间功能，通常依附或作用于功能系统；地域空间子系统包含结构、形态两个方面；营建技术子系统作为物质空间的技术支撑，是地域空间子系统的前提保障，同时贯穿全尺度，可视为独立的维度。

“草原”包括土地、植被在内，是人类文明的基础生产力和生产资料^[39]，也是承载“人-地-草-畜”共生关系的地理单元，兼具自然和人文属性。

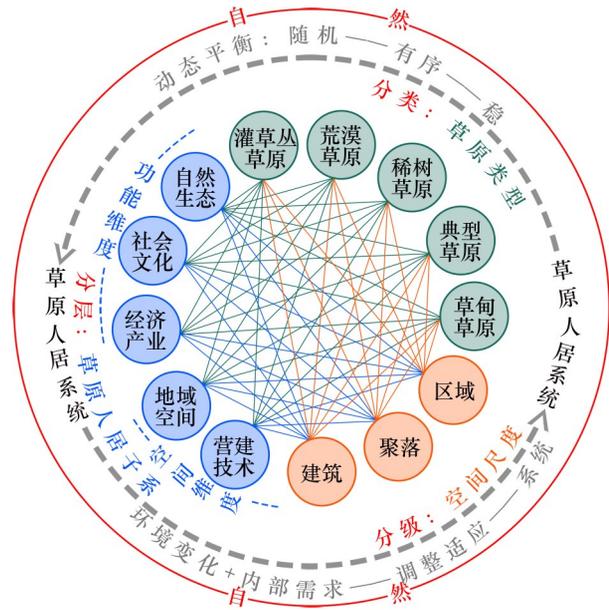


图1 草原人居系统构成

草原人居系统不仅包括传统的“人-地”关系，而且强调草原地区特有的“草”“畜”要素，体现出草原地区人居环境的独特性。在游牧时期，物质能量需求与区域自然供给（受日照、气候变化的影响）相对平衡，人地关系呈动态调整状态；而在定牧模式下，人地关系转向固定状态，不同草原类型的能量供给存在显著差异，造成草原人地关系的重大调整，进一步导致牧区截然不同的人居环境。从空间分布角度可分为典型草原、草甸草原、荒漠草原、灌丛草原、稀树草原^[40]。典型草原面积最大，主要分布于内蒙古高原中东部、青藏高原西部等地区，生态环境相对稳定，适宜大规模的农牧业活动。草甸草原主要在青藏高原中东部、新疆天山山脉周边，土壤肥沃、水源丰富，适宜多样化的农牧业发展。荒漠草原分布于内蒙古中西部、新疆准格尔盆地，干旱少雨、植被稀疏，以游牧为主。灌丛草原多零散分布于400 mm年等降水量线以南地区，以灌木草本为主，适合小规模农牧业。稀树草原集中在内蒙古东部地区，树木稀疏、草地广阔，生态宜居。

草原人居环境在不同尺度层面具有差异化的研究内涵：区域层面侧重宏观规划与管理，着眼草原牧区的整体功能优化和结构调整，据此制定可持续发展策略；聚落层面专注草原聚落的空间组织、社

会文化传承及其与自然环境的互动关系，涉及从旗（县）到村落、组团乃至牧户单元的多级结构；建筑层面聚焦定牧住居和公共设施的设计、建造与使用，特别关注建筑的节能性能、文化表达及其对草原环境的适应性。针对草原人居环境当前面临的生态环境退化、经济发展与生态保护之间存在矛盾、文化传承与现代化进程面临冲突等挑战，研究工作在不同尺度层面展现出差异化的侧重点，但都可以汇聚为推动草原人居环境可持续发展的合力。

2. 典型特征

针对草原人居系统，以分类、分层、分级的方式系统梳理草原地区的人居环境，从结构及功能维度重新思考人类聚居与草原地区之间的关系问题，既能满足差异化价值主体的多元诉求，也可强化人居环境系统的动态平衡与复杂性特征。

一是体现为整体性。从结构维度看，草原人居系统以自然生态、社会文化、经济产业、地域空间、营建技术5大系统和区域、聚落、建筑3个层次对草原人居环境进行解析，形成层级结构分明、交织互动、网络化联系的复杂系统结构。不同子系统之间以及系统与外部环境之间不断进行物质、能量、信息的双向交流和传递，在动态聚合之后整体呈现出各个部分不单独具有的功能与特征，体现出非线性放大的效果。上述各个层次相互嵌套，生态环境、历史文化、营建法则、适宜技术等构成要素相互制约并不断演化，从随机到有序并趋于稳定，呈现动态平衡态势。在系统整体性的认知视角下，着眼大的生态环境与区域时空，深入剖析草原人居系统的特性、子系统的关联性，防止系统的无序和混乱，进而实现整体优化。

二是体现为适应性。从系统特性看，适应性是草原人居系统的发展机制，能够根据内外部环境的变化，通过自我调节和优化来保持系统的稳定性与可持续发展。当面临气候变化、生态压力、经济转型、文化冲击等外部因素时，草原人居系统需作出相应的调整。如在游牧时期，人类根据季节变化、自然条件变化进行周期性的迁徙和放牧，主动调整物质能量需求与自然供给之间的平衡；在推广定牧模式后，人类通过改进住房、交通、基础设施的方式来适应固定的居住模式。不断调整内部因子的结构，采用现代先进技术，摆脱旧的限制因子的约束，拓展新的构成因子（如自然界的可再生能源），

将促进草原人居系统的可持续发展与韧性提升，驱动系统上升到新的更高层次。

三是体现为反馈性。从时间维度看，反馈性指草原人居系统能够根据内外部的各种信息反馈，及时调整自身的状态，以应对环境和内部需求的双重变化。值得注意的是，系统的发展过程既受到某些限制因子或负反馈机制的制约与调整，又受到某些有利因子或正反馈机制的强化与促进^[41]。这些因子和子系统在不同的变化方向、强度、速率下相互作用，形成草原地区人地关系的连续动态反馈机制。特别是在现代社会背景下，草原人居系统面临自然气候变化、市场需求波动、宏观政策调整等挑战，增加系统内部反馈机制的复杂性和强度。需要识别和分辨关键影响因子，揭示正/负向反馈机制，强化有利因子对系统的调控作用，促进系统向着既定目标的由量变到质变。

（二）草原人居系统发展现状

草原人居是在“人-地-草-畜”多维互适过程中形成的聚居单元，具有系统性、科学性、可持续性。然而，草原地区生态要素结构单一、生态实体本底脆弱，对人类生产、生活活动具有特殊敏感性，极易受到人为的不当开发活动影响而产生生态负面效应^[42]。在生态保护政策的影响下，推行“定居游牧”政策，实施生态移民工程，推动传统牧区聚落由游牧转向定居，形成草原地区人地关系的两次重大调整——草原地区整体初调整与局部生态不平衡条件下的局地再调整，进而形成各尺度层级内以及不同层级间的类型化、差异化演进脉络。在此背景下，从“三生”协同视角出发来理解“人-地-草-畜”之间的不相适应，对人居环境营建具有明确的导向性。可从区域、聚落、建筑3个尺度层级出发，系统梳理草原牧区人居系统在自然生态、社会文化、经济产业、地域空间、营建技术综合维度上的发展现状。

在区域层面，定居后的草原牧区“三生”空间打破了游牧时期的“天、人、产”合一状态，草原牧区功能从单一的畜牧业生产转向多元化发展，在增强草原人居环境发展韧性的同时，伴随着不同功能区之间矛盾与冲突加剧、资源分配不均、生态环境压力增大的情况。现代人的活动干扰，不合理的土地利用方式、气候变化等因素的共同影响，致使草原牧区出现水土流失加剧、草场退化、荒漠化程

度增加等生态问题。草原牧区“三生”空间呈现功能分化、结构紊乱等现象。

在聚落层面，草原牧区随着工业化、城镇化的快速推进而出现不同类型的生产与住居耦合的聚落模式。不断增大的中心城镇与牧民定居点规模，使生产空间和生活空间更加分散化、破碎化。遗憾的是，这些牧区聚落生成机制尚不明晰，空间布局呈无组织自由式，无法满足牧民对交通、医疗、教育、养老等人居环境质量提升的诉求。与城镇相比，乡村是局地再调整的重点区域，而重新调整人地关系面临再社会化过程中生存适应性这一主要问题，体现在地理环境变化、经济模式改变、住居模式演变、社会结构调整等的适应性^[43]。

在建筑层面，随着草原牧区的转型发展，牧区建筑陷入“失语”“失意”状态。近年来，随着“新牧区”建设快速推进，传统蒙古包直接转为农业区的砖瓦房，此举虽在一定程度上提高了牧民的居住生活水平，但未能转译原有牧区建筑质朴的在地性建造传统，致使新建筑脱离建造语境，失去草原牧区特有的建筑品质。牧区营建技术应用面临日照辐射强度大、寒暑气候变化剧烈、昼夜温差大、降水量相对较少且集中在夏季等共性问题。牧民以单层自建住宅为主，外围护结构隔热保温能力较差，冬季热源仍然以传统模式为主；建筑取暖能耗高、居住舒适感差，缺乏节能经验，与草原离散型居住方式不相适应。鉴于低碳技术的地域属性，不宜照搬外国或国内其他地区的应用模式，而需研发适应草原地区气候特征、资源环境、社会经济及文化条件的低碳营建技术。然而，现阶段仍未系统化发展相关营建技术，能源可持续利用对经济与文化需求的关注度依然不足。

三、草原人居系统构建面临的挑战

（一）“三生”空间功能分化，结构秩序有待重构

破解草原“三生”空间功能分化不合理、结构秩序失衡等难题，是促进草原人居系统优化升级的关键。一方面，“三生”空间功能分化不合理导致资源利用效率低下，对草原地区可持续发展构成现实挑战。在草原人居系统中，生产空间与生态空间存在矛盾、生活空间滞后发展是导致“三生”空间功能失衡的主要因素。生态空间的快速退化与生产

空间的过度扩张，导致草原生态系统承载力下降，进一步压缩草原地区的发展空间，遏制牧民的生产积极性。另一方面，随着城乡居民生活水平的提高，对草原人居环境的需求朝着宜居化、特色化、多元化方向转变。但就目前而言，我国草原地区优质人居环境供给不足，传统单一的牧区生活方式仍占主导，由此形成的人居环境供需错配情况难以适应并满足居民对美好生活的多元化需求，凸显转变草原人居系统构建方式、优化“三生”空间结构的重要性与紧迫性。

（二）聚落生成机制不明，空间布局有待改善

城镇、牧区、游牧点作为草原人居系统的重要组成部分，已经形成功能互补、分工协作的基本发展格局，但规范性欠缺、可持续性较弱、稳定性不足，不利于加快高质量发展进程。就城镇聚落而言，用地规模难以合理控制、盲目追求城镇化率、人口吸引力不足、基础设施建设资金短缺、公共服务体系完善度不足等，都成为制约发展质量的现实问题。在牧区聚落发展方面，空心化现象严重，真正实现现代化的牧区聚落仅占较小的比例。在推进牧区现代化发展的过程中，管理部门与牧民之间的有效沟通机制仍显缺乏。对于传统游牧群体而言，管理部门在牧区现代化发展过程中占据主导地位，双方关系呈现较高的脆弱性。在空间布局方面，草原人居系统存在明显的“散、小、乱”现象。聚落分布过于分散，加大基础设施建设和公共服务供给的成本。部分地区因缺乏科学规划而出现“造城运动”，伴生资源浪费和空心化问题。在游牧点方面，实施生态保护政策加速传统游牧点消失。在发展过程中，平衡生态保护与传统文化传承成为现实挑战。

（三）新建筑脱离建造语境，缺乏适宜设计理论与方法

草原地区建筑在发展中脱离当地的严气候、丰资源、弱经济等背景条件，普遍采用效仿的方式开展营建，缺乏自洽；加之采用通用标准解决特定问题，不适宜草原人居营建特殊的人地关系，导致传承与发展脱节。牧区建筑与环境不能形成多维度适配，对草原地区可持续发展和生态文明建设形成制约。一方面，草原地区建筑设计与当地建造语境存在脱节现象。建筑设计是优化人居环境的关键，但

设计者对草原文化认知存在局限性以及标准化设计思维的惯性，导致许多草原地区建筑在设计时忽视地域特征和传统文化，不利于草原人居系统的特色塑造和文化遗产。另一方面，草原地区建筑设计的适宜性仍然不足，停留在简单移植或粗浅模仿的阶段，对草原特殊环境条件的适应性不足，在生态节能、资源利用方面的创新力度不够。相关设计理论体系不完善、本土设计人才匮乏、建造技术较落后，同样制约草原建筑的适宜性设计与发展。传统草原建造技艺的传承面临断层，新型适宜技术研发与应用不足，导致建筑设计与实际建造之间存在差距。亟需建立符合草原特点的建筑设计理论体系，提升草原地区建筑的适宜性和文化认同感。

（四）营建技术相对粗放，缺乏适宜低碳技术体系

传统建造工艺、现代建造技术、生态适应性观念等是草原人居营建技术的重要组成部分，虽然形成相互补充、分工协作的基本发展格局，但是受到交通不便、材料获取困难、施工技术滞后的制约，技术粗放、能耗较高、适应性不强、可持续性薄弱等问题依然突出。在现代技术应用方面，技术本土化程度偏低，适合草原地区的现代建造技术占比不高。在低碳建筑技术方面，地域性低碳技术应用较少，适应草原气候的被动式节能措施推广不足，现代建筑的能耗水平较高。在推进草原人居系统生态化发展的过程中，现代技术与传统智慧缺乏有效的融合机制。大型开发企业在草原人居系统建设过程中往往占据主导地位，相应建设过程未能充分考虑普通牧民、本地居民的实际需求和生活习惯，导致建成环境与实际需求之间存在不相匹配的情况。亟待提升营建技术水平，拓展适宜的低碳技术体系，促进传统智慧与现代技术融合，建立适应当下草原人居环境的科学研究框架及实践路径。

四、草原人居系统构建框架

草原人居系统构建具有综合性，可通过模拟、调控和预测，揭示草原生态与人居环境系统之间的内在规律，解决草原人居系统中的资源利用、应对气候变化、文化遗产及创新等重点问题。围绕关键问题、理论模型、方法范式，探讨草原人居系统演进与发展的核心要素、动态机制、实践路径；三方

面相互支撑、协同作用，构成有机整体，为草原人居系统的可持续发展提供理论框架和实践指南。应用这一框架，可更好地理解 and 应对草原牧区面临的复杂挑战，推动生态保护、经济发展、文化遗产等方面同步实现高质量发展。

（一）关键问题：要素提取、层级关联、系统互适

1. 提取草原人居系统演化的导控要素

草原人居系统是人类在特定自然条件下形成的居住模式，演进过程受到多种要素的影响（见图2）；深入研究这些要素如何影响草原人居系统的形成和发展，可为草原地区的可持续发展提供科学依据。例如，识别影响草原生态的关键因素，采取有效措施保护生态环境，防止生态退化；分析社会文化方面的导控要素，了解不同群体的利益诉求，制定公平合理的公共政策，减少社会矛盾；识别和推广适合草原地区的先进技术（如节水灌溉、可再生能源利用等），提高生产效率和生活质量；识别潜在的风险因素，制定积极的应对策略，提高系统的抗风险能力。挖掘对草原人居系统演进起到关键作用的导控要素，探究不同因子对草原人居系统演进的制约或促进作用，有助于理解系统的反馈性、构建科学的理论框架。

2. 实现草原人居系统跨尺度空间关联

草原人居系统在不同尺度层级上呈现差异化的特征，如营建技术层级的材料选择、结构设计、工艺传承，建筑层级的形态布局、功能分区、环境适应，聚落层级的空间组织、社会结构、生产方式，区域层级的生产-生活-生态空间配置、景观格局变化、区域资源利用。草原人居系统在不同空间尺度上呈现“涌现”特征，并非简单的小尺度叠加，而是源于系统在各个层次上的自发组织、协同与适应能力，产生新的模式、结构或功能。以蒙古包为例，从整体性视角可以观察到：在微观尺度上，单个帐篷与周围环境密切相关；在中观尺度上，大量帐篷形成独特的聚落网络；在宏观尺度上，聚落网络呈现为季节性迁徙的动态格局。这种跨尺度的组织模式基于资源利用强度、迁徙路径效率、文化传统延续，形成了分类、分区的管理方法，将传统游牧生活方式嵌入到现代草原生态保护和可持续发展网络中。以草原人地关系的两次调整为内核，在“区域-苏木（乡镇）-嘎查（村）-浩特（组团）-

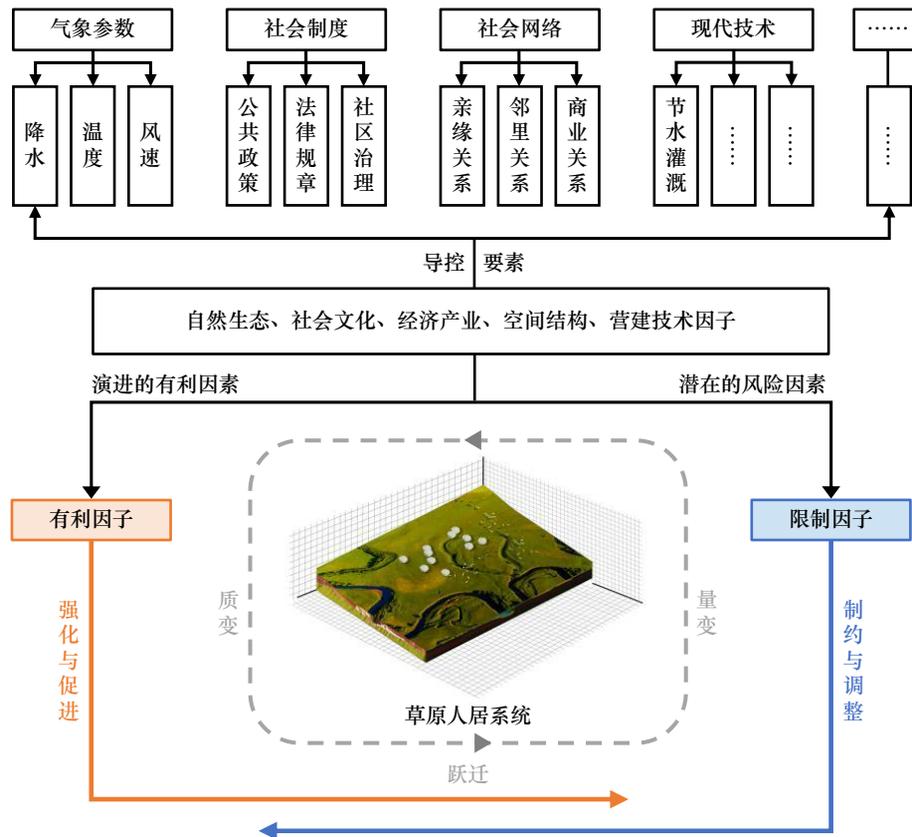


图2 草原人居系统演进导控要素

艾勒（牧户单元）-建筑-技术”尺度上研究草原人居系统，可精准理解典型区域草原聚落的类型化演进脉络、差异化演进规律以及草原人居系统的适应性。通过跨尺度的综合性研究，深入解析草原人居环境的复杂性，为科学制定发展策略提供坚实的理论支撑，促进在生态、经济、文化等维度上实现草原人居环境的协调发展。

3. 揭示草原人居子系统的互适机理

草原人居系统是非线性系统，各个子系统之间的相互作用与影响并不是线性叠加关系；不同子系统之间的联系有强有弱，部分子系统之间比其他子系统有着更加密切的内在联系。生态环境作为草原人居系统发育的关键要素，决定了整个草原人居系统发育的基本走向^[44]。从适应性视角看“生态-社会-经济-空间-技术”的耦合机理，气候变化扰动生态系统，导致草场资源供给量和供给时间发生变化，直接影响草原的可持续资源管理，威胁依赖稳定生态环境的营建技术系统和建筑系统的安全，进一步波及整个草原社会经济系统的稳定运行^[45-48]。自然生态、营建技术、地域空间子系统之间相互影响和

耦合，构成草原人居系统演化发展的动力之一，使草原人居系统处于适应与拮抗此消彼长的非平衡态。关注系统之间的耦合互馈，立足生命共同体的高度来系统谋划全域、全要素的综合治理，成为研究趋势^[49]。阐明草原人居各个子系统面对气候变化和人类活动双重扰动的响应机制，量化不同子系统之间的关系，特别是揭示功能与空间双向多维的互适机理，构建具有强复合性的地域空间子系统，成为草原人居系统可持续发展涉及的重要问题。

（二）理论模型：多层次适应性循环模型

有别于传统的线性发展理论，草原人居系统的多层次适应性循环模型强调“三生”在“整体性（相适）-适应性（自治）”（简称“适洽”）维度上相互制约、协调统一的反馈平衡机制和动态循环过程。

1. 核心要素：“三生”空间

在功能与空间双向多维互适的基础上，形成草原人居系统的核心要素：生产空间、生活空间、生态空间及其相互关系。其中，生态空间作为自然环

境本底，是承担生态服务功能的载体、全部生产和生活活动有序进行的前提条件；生产空间是居民从事生产活动以创造经济价值的物质空间；生活空间是居民的吃、穿、住、行、用和日常交往的场所，成为草原文化弘扬传承的起点。在“生态-生产”关系中，生态空间为畜牧业提供生产资料，支撑区域牧业发展；放牧影响草场质量与整体生态空间格局。在“生产-生活”关系中，生产为生活活动供给生活资料、提供经济基础，城乡生活空间为生产活动提供劳动力、生产资料和养殖场所。在“生态-生活”关系中，草原生态系统承载生活空间建设，补充生活户外活动功能；生活空间在通过建设活动破坏生态系统的同时，又在主动保护和积极修复生态系统。可见，生态安全、牧区减碳、低碳建造、形态适配、城乡统筹、牧居耦合等问题散布于系统中的各个环节。

2. 动态循环结构：适洽

形成一种地域人居环境，必然存在某种稳定的内生机制。本研究认为，营建能力、条件、需求各有逻辑，在曾经时代的自洽即为内生机制。在强调策略与地域背景相适的前提下，新时期草原人居建设更应注重彼此之间的自洽，构成草原人居地域性营建的适宜之道，即适洽。

适洽首先是唤起新的营建意识，核心在于按照草原人居系统长期以来稳定的内生机制来自觉调控人类的行为模式。其次，“相适-自洽”的双重维度强调以“整体性-适应性”的关联视角，将“三生”空间作为整体，再结合可描述复杂系统适应性演变的扰沌模型，构建草原人居系统多层次适应性的循环模型，用于理解、分析、模拟草原人居系统的历史变迁、现状和演变趋势。相关循环模型针对某一时空尺度上的系统，提供了从潜力、连结性、恢复力3个方面和区域、聚落、建筑等尺度层级进行分析的系统框架，可综合、整体地判断系统的演变过程和状态。其中，潜力、连结性、恢复力用于评估系统所处的状态及其关键特征。潜力指系统内在的发展可能性，在草原人居系统的语境下，可将之理解为草原生态空间提供的自然资源及环境服务（如风/光/热资源、植被覆盖度、碳汇服务、水土保持状况），生产空间提供的经济收入、社会经济因素（如技术进步、教育水平）等为系统带来的积极影响。连结性反映系统内部的联系和控制，是

系统灵活或僵化的度量。恢复力指系统面临干扰时重建平衡的能力，属于系统可持续发展维度。

开发、保存、释放、重组是草原人居系统演变的4个阶段。可根据系统的具体特征来判断在适应性循环中所处的阶段，继而结合阶段特征来规划草原人居环境建设的发展目标和特定的营建策略。例如，在开发阶段，草场生态良好，畜牧业旺盛，游牧生活和谐，系统展现出最大发展潜力；在保存阶段，生态系统平稳，牧民生计有保障，传统文化得以传承，但过度依赖单一生产方式可能导致适应性僵化；在释放阶段，可能因极端气候事件或不当政策引发生态退化、生产受挫、传统生活方式受到冲击的情况；在重组阶段，实施生态修复、产业转型、文化保护等措施，重新平衡要素，尽可能恢复传统模式或转向新型生态畜牧业。

适应性循环过程体现出草原人居系统面对气候变化、政策调整、社会经济转型的动态适应机制，凸显了系统在维持生态平衡、保障生计、传承文化方面的自组织能力和创新潜力。模型还考虑到不同的尺度层级（如区域、聚落、建筑）的变化，通常小尺度运行迅速、大尺度运行缓慢。应用这类多尺度分析方法，可全面理解草原人居系统随时空变化而发生的类型化演进与差异化变化，更好实现草原人居系统中跨尺度层级的关联。

（三）方法范式：融自然-承传统-低建造

草原人居系统的可持续发展是较为复杂的多层次问题，深入研究后可在实践和理论上对生态保护、社会发展起到指导作用。本研究提出了“融自然-承传统-低建造”的营建理论与方法（见图3），用于揭示草原人居环境营建中人与自然、传统与现代的关系。①“融自然”关注反映人与自然和谐关系的空间结构及具体形态，强调各尺度层级的空间在设计和使用上需充分考虑当地的自然环境、生产需求、生活方式，以利用空间组合方法适配气候、用墙腔耦合方法减少用能为代表；②“承传统”体现在对地域文化进行创新型转化以适应现代需求，如采用原位生土、石材承袭传统建造的逻辑与方法；③“低建造”既是营建观念、设计策略，也是营建目标，强调低生态干扰的自然干预、低碳节能的营建技术、适应地方弱经济条件的建造方法等，如统筹多项策略实现轻介入，建筑设计因地制宜、

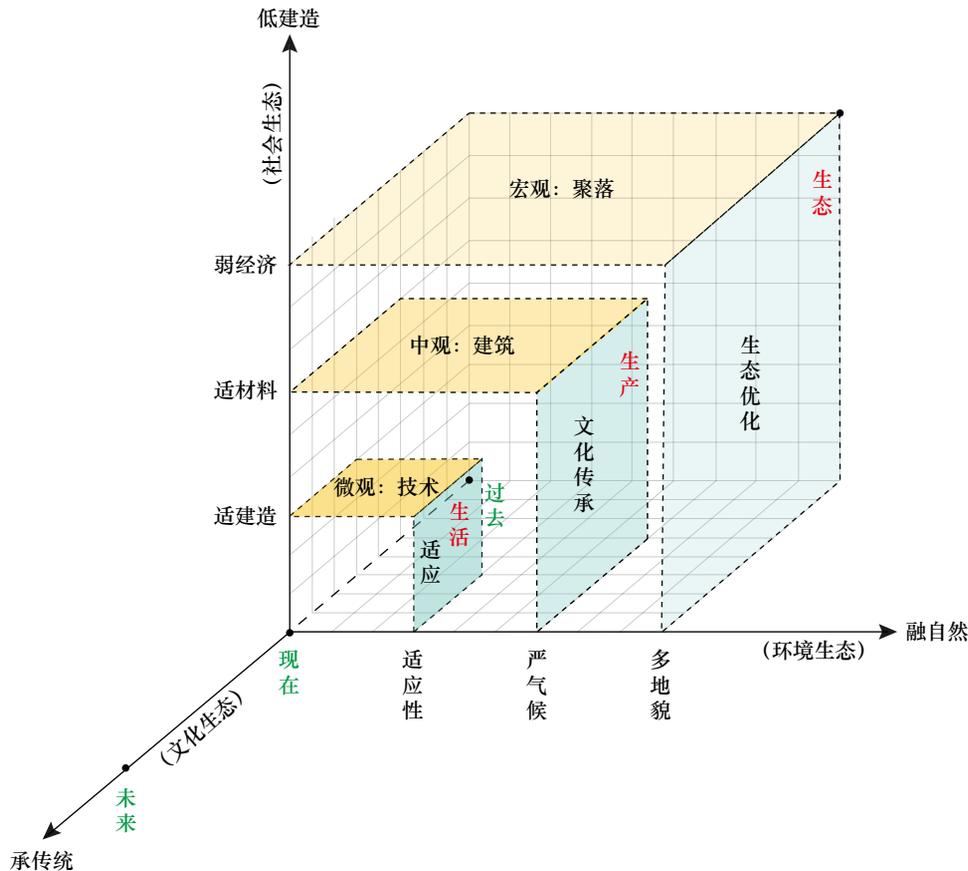


图3 “融自然-承传统-低建造”的营建理论与方法

因材致用等。

“融自然-承传统-低建造”的营建理论与方法反映了草原人居系统的多层次特征，涉及生态、建造、文化子系统之间，系统与外部环境之间的物质、能量、信息双向交流以及进一步的复杂网络；强调自然环境的主导作用、建造活动的低干预性、地域文化的延续性，为草原人居系统的可持续发展研究提供了方法范式。

五、草原人居系统的发展方向

科学制定草原人居系统的发展规划，将草原建设理念转变为生态优先、文化传承、智慧管理、适应性强的综合体系，构建全方位、多层次、系统化的草原人居安全体系，形成韧性强、自适应、可持续发展的草原人居管理能力。着力突破传统草原管理模式易受气候变化、过度开发等风险因素影响的问题，有效应对生态系统退化、文化流失等的潜在挑战。提升草原人居系统的感知监测、智能决策、适

应调节、应急管控等能力，形成“生态+经济+文化”协调发展体系、“智慧+韧性+可持续”立体管理网络，支撑草原人居系统高质量发展。

（一）推动草原牧区“三生”空间一体化发展

立足新发展阶段草原牧区“三生”结构秩序有待重组的需求，借鉴并融入地理规划、城乡规划、景观生态等学科方法，解析草原牧区人居环境的影响因素，阐释草原牧区“三生”功能关系，推动草原牧区“三生”互适模式和草原牧区“三生”空间一体化发展。① 优化“三生”空间，合理规划聚落布局，提高空间利用效率，促进资源的合理配置，实现生产空间的集约高效、生活空间的宜居适度、生态空间的山清水秀。② 整合“三生”功能，构建“生态+经济+文化”协调发展新体系，开展多功能空间的综合利用。③ 构建“智慧+韧性+可持续”立体管理网络，实施草原人居系统的智能化管理，提高系统的抗风险能力与自适应能力，兼顾资源的长期可持续利用。

(二) 构建适应草原牧区“自然-资源-社会”的建筑设计理论与方法

草原建筑设计正在经历从定性的“传统设计”向定量的“数智设计”的重要转变。针对草原牧区建筑营建中设计层面存在的粗放、过度、不平衡以及脱离建造语境等问题，采用数字建构、虚拟现实交互等新技术手段，探索优化实践路径。① 引入“自然-气候调控”机制，利用数字技术分析草原地区的自然环境和气候条件，优化牧区建筑的设计和建造，使之适应当地自然环境，兼顾节能减排和舒适宜居。② 发展“资源-在地性建造”体系，充分结合当地资源条件，采用在地性材料和技术，减少运输需求和环境影响，保持牧区建筑的可持续性和地方特色。③ 应用“社会-住居模式”转译方法，结合社会调查和数据分析，深刻理解牧区居民的生活需求和文化习惯并将之转化为具体的建筑设计方案，提高牧区建筑的功能性和舒适度。④ 创建多场景转换的牧区建筑营建理论与方法，集成并整合数智技术，开展示范项目应用并持续修正，提高牧区建筑的灵活性和适应性。

(三) 建立适应当地严气候、弱经济、富资源背景的低碳牧区营建技术体系

立足草原牧区的气候和资源条件，探明草原牧区的碳汇特征与碳排机制，完善地区人居环境营建技术，为“三生”空间一体化营建模式提供理论和路径支撑。① 发展适宜地域气候条件的草原牧区节能减碳技术，因地制宜制定区域内社区层级气候适应性措施，研发被动式建筑节能、能源利用、智慧运维技术。② 发展适应弱经济条件的传统原位建材性能提升技术，验证新型矿渣固废与传统原位生土相结合的新材料应用成效，优化传统材料、结构，充分利用废弃材料开发低成本、高性能的农房建筑材料及相应建造路径。③ 发展与人居环境营造高度融合的可再生能源利用模式，研发与居住建筑结合的屋顶光伏系统、地源热泵系统，与生产设施结合的生物质能源系统，与公共设施结合的风能照明系统等。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: October 31, 2024; **Revised date:** December 23, 2024

Corresponding author: Wang Zhiqiang is an associate professor from

the School of Architecture, Inner Mongolia University of Technology. His major research fields include regional architectural design, residential construction. E-mail: 473562965@qq.com

Funding project: National Natural Science Found Project (U24A20160, 52408026, 52468013, 52468001)

参考文献

- [1] Wolfe R I, Doxiadis C A. Ekistics: An introduction to the science of human settlements [J]. *Geographical Review*, 1970, 60(1): 147.
- [2] 吴良镛. “人居二”与人居环境科学 [J]. *城市规划*, 1997, 21(3): 4-9.
Wu L Y. “Habitat II” and human settlement environment science [J]. *City Planning Review*, 1997, 21(3): 4-9.
- [3] 赵万民, 汪洋. 山地人居环境信息图谱的理论建构与学术意义 [J]. *城市规划*, 2014, 38(4): 9-16.
Zhao W M, Wang Y. Theoretical construction of mountain human settlements infospectrum and its academic significance [J]. *City Planning Review*, 2014, 38(4): 9-16.
- [4] 吴良镛, 毛其智. “数字城市”与人居环境建设 [J]. *城市规划*, 2002, 26(1): 13-15.
Wu L Y, Mao Q Z. Digital city and human settlement construction [J]. *City Planning Review*, 2002, 26(1): 13-15.
- [5] 朱梅, 汪德根. 学科树视角下地理学和建筑学人居环境研究比较 [J]. *地理学报*, 2022, 77(4): 795-817.
Zhu M, Wang D G. Comparison of human settlement research in geography and architecture from the perspective of a theory tree [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(4): 795-817.
- [6] 刘滨谊, 高文琳. 长江三角洲人居环境地方性体系化构建及其演变评估 [J]. *中国园林*, 2023, 39(4): 6-13.
Liu B Y, Gao W L. Systematic construction of human settlement locality in Yangtze River Delta and its evolution assessment [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2023, 39(4): 6-13.
- [7] 王竹. 长江三角洲地区低碳乡村人居环境营建体系研究 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
Wang Z. Research on low-carbon rural habitat building system in the Yangtze River Delta Region [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.
- [8] 王雨, 田莉. 超越增长机器: 珠三角“城市-区域联盟”的演进逻辑与规划应对 [J]. *城市发展研究*, 2024, 31(8): 66-74.
Wang Y, Tian L. Beyond growth machine: The evolution logic and planning responses of “city-regional coalition” in the Pearl River Delta [J]. *Urban Development Studies*, 2024, 31(8): 66-74.
- [9] 袁奇峰, 占玮, 卢俊文, 等. 迈向“巨型城市区域”: 珠江三角洲城市-区域的功能空间与网络测度研究 [J]. *城市发展研究*, 2023, 30(11): 29-35.
Yuan Q F, Zhan W, Lu J W, et al. Towards a “mega-city region”: Measuring the functional space and network of urban-regions in the Pearl River Delta [J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(11): 29-35.
- [10] 汪芳, 刘永, 贺金生, 等. 流域人居系统科学的框架探索与研究展望 [J]. *自然资源学报*, 2024, 39(5): 997-1007.
Wang F, Liu Y, He J S, et al. River basin habitats science: Framework and prospects [J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(5):

- 997–1007.
- [11] 高雅, 王英帆, 雷振东, 等. 流域空间协同视角下的黄河中游地区市域乡村振兴专项规划编制路径研究——以延安市为例 [J]. 规划师, 2022, 38(2): 62–69.
Gao Y, Wang Y F, Lei Z D, et al. Rural revitalization planning path for the integration of the Yellow River midstream spaces: Yan'an case [J]. *Planners*, 2022, 38(2): 62–69.
- [12] 李雪铭, 田深圳. 中国人居环境的地理尺度研究 [J]. 地理科学, 2015, 35(12): 1495–1501.
Li X M, Tian S Z. The geographic scale of human settlements in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(12): 1495–1501.
- [13] 李雪铭, 徐梁, 田深圳, 等. 基于地理尺度的中国人居环境研究进展 [J]. 地理科学, 2022, 42(6): 951–962.
Li X M, Xu L, Tian S Z, et al. Human settlements in China based on the geographical scale [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(6): 951–962.
- [14] 林浩曦, 荣玥芳, 陈云谦, 等. 面向生态智慧适应协调的韧性乡村认知框架与营建策略 [J]. 规划师, 2024, 40(10): 56–63.
Lin H X, Rong Y F, Chen Y Q, et al. A resilient rural cognitive framework and construction strategy for ecological wisdom adaptation and coordination [J]. *Planners*, 2024, 40(10): 56–63.
- [15] 高雅, 雷振东, 刘苗苗. 面向生态脆弱区的县域国土空间规划技术体系框架 [J]. 世界建筑, 2024 (10): 86–91.
Gao Y, Lei Z D, Liu M M. Technological system framework for county-level territorial spatial planning in ecologically fragile areas [J]. *World Architecture*, 2024 (10): 86–91.
- [16] 赵万民. 山地人居环境科学研究引论 [J]. 西部人居环境学刊, 2013, 28(3): 10–19.
Zhao W M. An introduction to studies on science of mountain human settlements [J]. *Journal of Human Settlements in West China*, 2013, 28(3): 10–19.
- [17] 田深圳, 马帅, 李雪铭, 等. 滨海城市人居环境高质量发展的时空特征与影响因素研究 [J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2021, 44(3): 386–395.
Tian S Z, Ma S, Li X M, et al. A study of the spatio-temporal characteristics and influence factors of the high quality development in coastal cities [J]. *Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition)*, 2021, 44(3): 386–395.
- [18] 王海松, 周冉, 杨智荣, 等. 潮汐影响下的江南滨海传统聚落“环境–人居”形态及其成因 [J]. 新建筑, 2024 (2): 46–52.
Wang H S, Zhou R, Yang Z R, et al. Morphology and cause of “natural environment – human settlements” interactive form of traditional Jiangnan settlements under the influence of tides [J]. *New Architecture*, 2024 (2): 46–52.
- [19] 虞春隆, 党纤纤. 流域视角下的黄土高原人居环境可持续性区划方法研究——以泾河流域为例 [J]. 建筑学报, 2017 (S1): 143–147.
Yu C L, Dang Q Q. Discussion on the sustainable zoning method of human settlement base on watershed: Take the Jinghe River Basin for example [J]. *Architectural Journal*, 2017 (S1): 143–147.
- [20] 马晨, 王宏卫, 谈波, 等. 新疆典型绿洲城乡聚落规模体系特征及空间重构——以渭干河–库车河三角洲绿洲为例 [J]. 地理学报, 2022, 77(4): 852–868.
Ma C, Wang H W, Tan B, et al. Characteristics and spatial reconstruction of an urban-rural settlement scale system in a typical oasis in Xinjiang: A case study of the Ugan-Kuqa River Delta Oasis [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(4): 852–868.
- [21] 焦胜, 刘晓燕, 韩宗伟, 等. 丘陵地区近郊型乡村产居空间耦合类型探讨 [J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2020, 34(5): 153–160.
Jiao S, Liu X Y, Han Z W, et al. A study on the coupling model of production and residence space in suburban villages [J]. *Journal of Hunan University (Social Sciences)*, 2020, 34(5): 153–160.
- [22] 盖志毅, 宋维明, 陈建成. 草原牧区生态移民及其对策 [J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2005, 4(3): 55–58.
Gai Z Y, Song W M, Chen J C. Ecological emigration and its countermeasures in pasture areas [J]. *Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences)*, 2005, 4(3): 55–58.
- [23] 赵雪雁. 牧民对高寒牧区生态环境的感知——以甘南牧区为例 [J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2427–2436.
Zhao X Y. Research on the herds' perception of the environment in the high and cold pasturing area: A case of Ganan pasturing area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2427–2436.
- [24] 马明. 新时期内蒙古草原牧民居住空间环境建设模式研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学(博士学位论文), 2013.
Ma M. Study on the construction mode of living space environment of grassland herdsmen in Inner Mongolia in the new period [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology (Doctoral dissertation), 2013.
- [25] Zhang Q, Buyantuev A, Fang X N, et al. Ecology and sustainability of the Inner Mongolian grassland: Looking back and moving forward [J]. *Landscape Ecology*, 2020, 35(11): 2413–2432.
- [26] Xu Y C, Zhang Y Q, Chen J Q. Migration under economic transition and changing climate in Mongolia [J]. *Journal of Arid Environments*, 2021, 185: 104333.
- [27] Labadessa R, Ancillotto L, Adamo M P, et al. Echoes of the past: Agricultural legacies shape the successional dynamics of protected semi-natural dry grasslands [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 905: 166990.
- [28] Muchiru A N, Western D J, Reid R S. The role of abandoned pastoral settlements in the dynamics of African large herbivore communities [J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(6): 940–952.
- [29] 张立恒, 赵天宇, 荣丽华. 草原牧区居民点空间离散度与网络构建关联分析——以锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗为例 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2020, 51(2): 202–210.
Zhang L H, Zhao T Y, Rong L H. Relevance analysis of residential spatial dispersion and network construction of grassland pastoral areas with low population density—A case study of East Ujimqin Banner, Xilingol League, Inner Mongolia [J]. *Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition)*, 2020, 51(2): 202–210.
- [30] Maximova S G, Raikin R I, Chibilev A A, et al. Advances in natural, human-made, and coupled human-natural systems research [M]. Cham: Springer International Publishing, 2023.
- [31] Gantumur B, Wu F L, Vandansambuu B, et al. Implication of urban heat island (UHI) related to human activities: A case study in Mongolia [C]. Strasbourg: Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 2019.
- [32] 王珊珊, 毋兆鹏, 王娟娟, 等. 新疆乌鲁木齐“三生”用地的空

- 间冲突研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 330-337.
- Wang S S, Wu Z P, Wang J J, et al. Spatial conflicts of productive-living-ecological land in Urumqi City of Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 330-337.
- [33] 段亚明, 黄安, 卢龙辉, 等. “生产-生活-生态”空间的概念与理论研究[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(4): 170-182.
- Duan Y M, Huang A, Lu L H, et al. Analysis on concept and theories of “production-living-ecological” spaces [J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(4): 170-182.
- [34] 白丽燕. 蒙古包住居原型现代转译[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- Bai L Y. Modern translations of yurt dwelling archetypes [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.
- [35] 张鹏举, 陈毅. 从相适到自洽的生成逻辑——地域建筑文化传承实践与认知[J]. 当代建筑, 2022 (9): 19-22.
- Zhang P J, Chen Y. Generation logic from adaptability to self-consistency: The practice and cognition of regional architectural culture inheritance [J]. Contemporary Architecture, 2022 (9): 19-22.
- [36] 王帅, 王志强, 张鹏举. 低碳思维下三种草原新型绿色建筑体系解析[J]. 当代建筑, 2022 (8): 22-26.
- Wang S, Wang Z Q, Zhang P J. Analysis of three new grassland green building systems under low-carbon thinking [J]. Contemporary Architecture, 2022 (8): 22-26.
- [37] 田莉, 于江浩, 杨滔. 智慧人居环境理论模型与应用探索——复杂系统视角[J]. 城市规划, 2023, 47(12): 78-88.
- Tian L, Yu J H, Yang T. Theoretical model of intelligent human settlements and its application: A perspective of complex system [J]. City Planning Review, 2023, 47(12): 78-88.
- [38] 曾灿, 刘沛林, 李伯华. 传统村落人居环境转型的系统特征、研究趋势与框架[J]. 地理科学进展, 2022, 41(10): 1926-1939.
- Zeng C, Liu P L, Li B H. System characteristics, research trends and framework of human settlement transformation in traditional villages [J]. Progress in Geography, 2022, 41(10): 1926-1939.
- [39] 唐根杰, 包庆德. 游牧文明: 生存发展智慧及其生态维度研究[J]. 黑龙江民族丛刊, 2023 (1): 137-143.
- Tang G J, Bao Q D. Nomadic civilization: A study on the wisdom of survival and development and its ecological dimension [J]. Heilongjiang National Series, 2023 (1): 137-143.
- [40] 董世魁, 唐芳林, 平晓燕, 等. 生态文明建设背景下中国草原多维分类方法探讨[J]. 草地学报, 2023, 31(1): 1-8.
- Dong S K, Tang F L, Ping X Y, et al. Study on multi-dimensional China's grassland classification in new era of ecological civilization [J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(1): 1-8.
- [41] Tugjamba N. Exploring climate change adaptation in the Mongolian steppes using an ecosystem services approach [D]. Sydney: Macquarie University (Doctoral dissertation), 2023.
- [42] 张治华, 徐建华, 韩贵锋. 生态敏感区划分指标体系研究[J]. 生态科学, 2007, 26(1): 79-83.
- Zhang Z H, Xu J H, Han G F. Ecological sensitive area division indicator system [J]. Ecologic Science, 2007, 26(1): 79-83.
- [43] 荣丽华, 王强, 郭丽霞, 等. 内蒙古乡村人居环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 2021.
- Rong L H, Wang Q, Guo L X, et al. Inner Mongolia rural habitat [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2021.
- [44] 岳奕帆, 赵文智, 刘任涛, 等. 宁夏荒漠草原带生态环境质量时空变化及驱动机制研究[J]. 生态学报, 2024, 44(20): 9067-9080.
- Yue Y F, Zhao W Z, Liu R T, et al. Study on the temporal and spatial changes and driving mechanisms of ecological environment quality in the desert steppe belt of Ningxia [J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(20): 9067-9080.
- [45] 荣丽华, 贺浩铭, 李伊彤. 三生协同导向下草原聚落空间布局优化方法研究[J]. 当代建筑, 2022 (12): 129-134.
- Rong L H, He H M, Li Y T. Research on optimization method of spatial layout of grassland settlements under the guidance of coordination of living, production and ecological spaces [J]. Contemporary Architecture, 2022 (12): 129-134.
- [46] 张龄之, 张立, 塞尔江·哈力克. 基于文化生态视角的草原聚落遗产空间演变特征与机理研究——以新疆琼库什台村为例[J]. 小城镇建设, 2024, 42(3): 112-119, 128.
- Zhang L Z, Zhang L, Halike S. Research on the characteristics and mechanisms of spatial evolution of grassland settlement heritage based on cultural and ecological perspectives: Taking qiongkushitai village in Xinjiang as an example [J]. Development of Small Cities & Towns, 2024, 42(3): 112-119, 128.
- [47] 张鹏举. 文化建筑中的技术创新与文化传承[J]. 当代建筑, 2024 (3): 5.
- Zhang P J. Technological innovation and cultural heritage in cultural architecture [J]. Contemporary Architecture, 2024 (3): 5.
- [48] 金国辉, 魏雪, 张伟健. 基于ABC-BPNN的内蒙古西部草原民居建筑能耗预测模型[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(2): 48-52, 60.
- Jin G H, Wei X, Zhang W J. Construction energy consumption prediction model for grasslands residential buildings in Inner Mongolia based on ABC-BPNN [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2019, 36(2): 48-52, 60.
- [49] 龚华, 全德, 张楚婧, 等. 城乡融合视角下的全域土地综合整治模式优化[J]. 规划师, 2023, 39(12): 38-44, 52.
- Gong H, Tong D, Zhang C J, et al. Optimization of comprehensive land consolidation model under the context of urban-rural integration [J]. Planners, 2023, 39(12): 38-44, 52.