

# 协频城市:时空数据增强设计中的频度协同\*

## Synergised City: Frequency Synergy in Spatiotemporal Data-Augmented-Design

沈尧 SHEN Yao

**摘要** 真实的城市瞬息变化,持续演进。得益于海量的跨模态高频时空感知数据的涌现,城市分析方法与干预手段持续“高频化”,与较为“低频”的传统规划理论形成互补,为城市的短期、长期干预分别提供了路径。“低频城市”与“高频城市”有机结合的复合态是未来城市的特点,进而提出一种新的规划设计视角——“协频城市”,其强调高低频协同的城市研究和干预方法,以城市时间频度为切入点,运用频度与空间规划的单元、尺度、粒度、距离等要素的紧密联系,提倡尊重时空数据的自然频度和尺度涌现机制,以及与城市议题干预需求对应的必要性,以智能技术作为一种协频和调频工具箱形成以地点为视角、时空规律发现为特点的时空数据增强的路径。提出以整合城市频度作为一种发现城市智能和探索新规划理论的重要手段,指出在城市研究和实践中运用“频度智能”对于规划智能化的积极意义。

**Abstract** Real cities continue shifting and evolving almost instantly. With the massive cross-modal, high-frequency, and spatiotemporal data, the approaches in urban analytics and spatial intervention are now known to be high-frequency, complementing the conventional, low-frequency methods, and providing new possibilities for short-term and long-term decision-making for urban wellbeing. The so-called "high-frequency city" and "low-frequency city" imply two paradigms that are not well-associated and mutually referenced, and the scrutiny on the urban frequency and on the cities under different frequencies is very still absent. This research introduces a new paradigm named "hybrid-frequency city" as a new methodology to incorporate the high-frequency city and low-frequency city comprehensively. It is argued that neither a fully high-frequency city nor a pure low-frequency city is the ultra-form of the future city. Urban frequency is defined as a fundamental element in the hybrid-frequency city, which is closely associated with domains, resolution, scales, etc. In our framework, the method to calibrate proper resolutions and scales for the purposed spatial domain is proposed and a frequency modulator is required for synergising the interventions across domains, scales, and resolutions for various urban issues. It is demonstrated that urban frequency is an essential type of urban intelligence that benefits relevant urban studies and practice with domain-scale-resolution precision.

**关键词** 大数据;频度;数据增强设计;城市科学;规划协同

**Key words** big data; frequency; Data Augmented Design; urban science; planning synergy

文章编号 1673-8985 (2022) 03-0008-06 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20220302

### 作者简介

沈尧  
自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室  
同济大学建筑与城市规划学院  
副教授, 博士生导师  
英国伦敦大学学院高级空间分析中心  
荣誉研究员, eshenyao@tongji.edu.cn

### 0 引言

随着城市感知基础设施的建设和相关技术的发展,各种跨模态、时空精细化的数据不断涌现,城市正变得越来越智能化<sup>[1]</sup>。对于时空数据增强的规划设计而言,时间频度智能已成为城市智能的一个重要维度<sup>[2-3]</sup>。基于高频瞬变数据的“高频”城市不仅是理解城市动态现实的新视角,也正在成为未来规划设计的重要对象<sup>[4]</sup>。它与更注重长期目标的传统规划

理论及规划设计形成对比和互补,成为快速响应的城市干预路径<sup>[5]</sup>。关于高频城市的认识仍处于初期阶段,其与对应的低频城市的关系及规划设计应用的一般路径仍缺乏研究。

未来城市是“低频城市”向“高频城市”复合的“协频城市”,需结合高频响应和低频支持,凝练城市时空规律,提高时空数据增强的规划设计的时空精确性和有效性。本文从数据环境中的频度入手,讨论高频、低频城市规

\*基金项目:国家重点研发计划课题“城市韧性测度及动态演化机理”(编号2020YFB2103901-1);国家自然科学基金“面向高频城市的空间网络绩效评价方法研究”(编号51908413)资助。

划设计的范式转变,提出频度协同对于数据增强设计<sup>[6]</sup>的必要性;探索频度与空间单元、粒度、尺度、距离定义等要素的内在联系,强调针对不同城市议题采用涌现的效用空间与特征频度的重要意义,总结基于频度协同的时空数据增强设计的一般框架。本文认为频度协同是一种发现城市智能和探索新规划理论的重要手段,其在城市研究和实践中“频度智能”的运用对于规划智能化具有积极意义。

## 1 新数据环境下的协频城市

### 1.1 传统规划设计的“低频城市”

低频城市指的是受限于感知基础设施条件、获取难度、计算条件和城市科学基础,将真实高频城市活动归纳为较长周期性的总体空间特征,应用于规划设计应对的远景蓝图的实现。传统的城市规划与设计便是一种面向“低频城市”的干预方法,通常关注的是物质空间营造,一般服务于较为长期的建设和发展目标。城市物质空间在短时间内自身变化较少,本身亦属于低频城市要素。相关的城市规划理论和方法也偏重对现象的归纳,重视对普世的、定性的城市规律的总结,方便案例间知识迁移及规划共识的快速形成。更重要的是,城市数据环境的设定决定了人们感知城市和设计介入的基本方法。

虽然传统的规划设计亦讲求实际踏勘、社会调研等截面数据,但一般而言还是主要依赖于空间统计数据等低频数据。低频数据主要指的是截面化的、更新频率低且较难获取的,通常依赖于普查、测绘、对地观测等手段所形成的城市间歇感知数据(如人口普查、交通出行调查、经济普查数据等)。对低频数据的依赖是传统城市数据环境的重要特征之一。在传统城市数据环境下,各类空间数据更新较慢、信息维度较少,模态相对单一,数据交互一般按照层结构组织,相互之间的互动逻辑是相对简化的“空间重叠”逻辑(见图1)。这在一定程度上也影响了对应的规划设计方法(见表1)。传统数据环境下的规划设计一般将规划设计蓝图抽象为可分解、可叠合的多层城市系统(如

交通、绿地、水系、开放空间等)。这样的树形结构通常易于理解,方便经验迁移,符合人们潜意识中对于可理解系统的归纳习惯,但也容易忽略不同系统之间存在的复杂联系,使得规划设计对于动态的社会生活干预失效<sup>[7]</sup>。因此,如果假设数据环境和规划设计环境的暗合存在,那么传统规划设计的方法实际上非常接近于一种简化的空间信息模型,通过监控、编辑和可视化不同层次的空间要素系统,以达到相对远期规划目标。当规划设计中的频度变化细微时,空间尺度、粒度等便成为不同类型规划设计的特征,甚至成为特定规划的成果要求。

### 1.2 新数据环境下的“高频城市”

高频城市得益于移动互联网、物联网等城市感知基础设施网络的快速完善,城市数据获取难度和成本降低,计算条件和技术跨越式发展,城市活动被真实地记录、即时传送和处理,以支持规划设计的快速分析、决策和响应。高频城市数据是动态的、跨时空截面的、时新时异的、通常依赖于志愿者型的社会感知手段所形成的城市持续感知数据,其是新数据环境的重要特点<sup>[8]</sup>。新数据环境下的规划设计被认为能够应对“高频城市”的空间干预问题。这样的规划设计依赖数据科学与人工智能等技术,通常关注的是对于空间的动态绩效的保障和提升,短期目标的快速响应。在此背景下,空间中存在的高频联系作为空间的动态功能性体现,成为高频城市的重要要素。不断涌现的新城市理论和方法,虽暂未形成新的知识体系,但已展现出新特点,如注重时空精细化的城市现象的识别,强调通过定量手段挖掘城市规律,以城市模型或工作流程辅助知识迁移,能够依据政策、主体、对象等差异形成不同成果,注重方法科学性和技术理性辅助下的规划共识的涌现。

在新的数据环境中,不同时空数据大量存在时空维度上的结构性映射和相互关联,存在跨模态融合难度和语义解析的可能偏差,因此规划要素不限于线性的建成环境要素,也包含它们之间的复杂时空耦合关系。城市规划与设

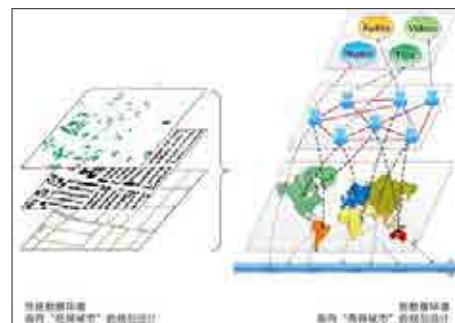


图1 频度转换视角下新旧数据环境差异图示  
Fig.1 Comparison between the old and new data environment with respect to frequency

资料来源:笔者自绘。

计干预则被细化到不同的时间窗口,应对可能出现的短期问题。因此,高频城市是智慧城市的重要特征,其内涵是对城市要素之间的时空关系的精准把握,被干预的方式从蓝图式规划迈向智能规划,注重规划与设计对不同频度下城市问题的响应能力。高频城市展现出前所未有的复杂性,需要依赖新的城市科学和智能规划模型进行应对<sup>[9]</sup>。这些城市模型依赖于感知与计算技术,以时空要素的处理、运算和模拟为规划设计的路径来响应较为明确的城市绩效提升目标,其中除了空间尺度外,还应注意时间频度及其他模型中所涉及的参数设定对结果的潜在影响。频度将是区别新数据环境下各种规划设计类型的重要维度。

### 1.3 频度协同的未来城市

高频城市和低频城市的互补性高于替代性,我们仍需要面对不同频度下的规划设计的干预问题。因此,协频城市是频度协同的未来城市认知和干预框架,它基于高频城市和低频城市的复合态,依赖于即时和周期的主被动感知技术构建覆盖多时间频度,真实的城市活动被记录在不同的时空窗口间妥善映射,同时支持长期建设发展和短期治理目标,将长期目标作为动态响应的累积目标,将动态响应作为长期目标的时空细化的一种规划协同路径。

我们如何规划城市,实际上与我们如何构建支持规划决策的城市信息模型密切相关<sup>[10-11]</sup>。协频城市的特点将从对于低频城市和高频城市所支持的信息模型入手,理解和重塑空间、

技术与人的复杂关系<sup>[12]</sup>。当下的城市信息模型在频度上产生了两种“极端”：一是以地点为视角的地点信息模型；二是以个体为视角的个体信息模型，分别代表低频和高频信息模型的差异（见图2）。地点信息模型通常以地点为视角，以空间统计为观测方法，容易对应规划编制的需求空间范围，如事权边界包括行政边界、产权边界等，或设计要素如街道、地块、建筑等。它的优势是数据基础较为简单，较易获取，容易复制和解释，不通过复杂建模也可以构建整体趋势的联系，能够直观地联系数据与规划设计。而个体信息模型则相反，它以个体为视角，解释了各类主体（人、企业、动植物、自动化运行的车量等）时空行为的复杂性和真实性，但通常与规划编制的空间范围不一致，数据较难获取，必须依赖模型解释，空间关系呈现出局部异质性，较难解释，需要通过地点模型联系数据与规划设计。

频度是区分信息模型的重要维度。由于频度差异，地点信息模型与个体信息模型在行为真实度、数据易获度、计算难度、可解释度和潜在偏误方面呈现出截然不同但相互补充的关系。若能选择好合适的频度，便可能集合两种信息模型的优势，避免劣势。因此，笔者认为在某些时间频度范围内，存在一种支持协频城市的（时空）数据增强设计信息模型（Data-Augmented-Design Information Model, DADIM）。它基于地点为表示单元，响应需求，保证较高的可解释性，但以地点内、地点间的时

空行为作为分析对象来兼顾行为动态的真实性，以平衡可解释度和行为真实性；它强调探索自下而上的治理频度区间，以降低数据的获取和计算难度，但尽可能保证模型的精巧性和轻量化；它能够通过跨频度数据进行相互校核，减少时空偏误，增强模型稳健性；并能够融合空间视角下整体行为空间特点与个人视角下的局部特征，以推进对新的规划设计洞见发现。因此，找寻合适的频度区间是构建这一（时空）数据增强设计信息模型的基础，在此基础上高频城市和低频城市的规划设计响应能够获得同步，形成二者相互支持、持续增强的未来城市图景。

## 2 频度作为（时空）数据增强设计的基本要素

在协频城市背景下，时空数据增强设计信息模型为时空数据增强设计的相关决策提供了数据底板。然而，为了形成时空数据增强设计决策模型，仍需从频度角度出发，回应若干基本问题：（1）频度如何影响数据增强设计的模型环境设定？（2）频度是如何在不同数据间涌现的？（3）频度是如何在规划过程中被使用的？以上3点分别对应时空数据增强设计中的模型环境设定、频度选择和频度需求匹配问题。

### 2.1 频度与单元、粒度、尺度、距离的复合性

城市频度不是一个孤立的维度，它和城市诸多其他属性相辅相成，影响我们认识、计算和设计城市的方式和方法（见图3）<sup>[13]</sup>。通常

而言，城市频度会呈现出与单元粒度和空间尺度的同向性，即一般而言，随着频度降低，通常我们更关注整体的、较为静态的趋势，用于观测的尺度也通常变得较大，粒度也变得较粗。比如当我们测度区域的功能结构时，区域内群体性的行为特征显然比个体行为更能表达结构属性，而避免过度的噪音。

除频度、粒度和尺度的同向性以外，适配它们变化的空间单元定义也在发生变化。当频度很高时，个人的感知系统所对应的空间单元是主要的关系单元，如感知的凸空间，或是视线与视域；随着频度降低，城市可观察的物理空间逐渐成为分析单元，如引力点、公共空间、建筑和地块；而频度更低时，空间分析单元开始倾向于空间网格，或者多边形管理边界，而忽略一些建成环境的空间细节。因此，频度视角的另一个关键内涵是研究对象定义的变化。我们甚至可以将之类比到各种规划设计类型，比如城市设计实际上比土地利用规划要更加高频，因为更加关注人们的行为与细节空间设计的关联；控制性详细规划则相对城市设计更加低频，其通常以地块为操作单元，更加关注公共空间、建筑在其中的管控和落实；城市总体规划、区域规划等更加强调整低频的、稳定的发展空间格局塑造。

城市频度变化还与距离的定义有关，这将更加直接影响我们如何计算不同的城市单元所组成的系统联系。一般而言，距离存在多种定义方式，但本质上一种克服空间紧邻的消耗，可以被大致分为能量消耗和认知消耗，分

表1 新旧数据条件下的低频城市与高频城市规划设计的特征比较  
Tab.1 Comparison between high-frequency and low-frequency cities in terms of data conditions and planning paradigms

比较内容	传统数据环境下 面向“低频城市”的规划设计	新数据环境下 面向“高频”城市的规划设计
数据特征	低频、低维、简单模态的等级系统	高频、高维、跨模态的复杂系统
数据结构	缺少结构异质性与映射关系	富含结构异质性与映射
模型内涵	基于数量的观测与统计	基于质量的感知与计算
模型原型	空间信息模型	智能规划模型
数据处理	监控、编辑与可视化	处理、运算与模拟
系统观	通常基于城市系统的“空间叠合”	通常基于城市系统的“时空耦合”
知识迁移	通常基于经验迁移	通常基于定量模型迁移
规划目标	通常基于远期规划目标	通常基于短期治理目标
规划成果	成果通常依赖于建成环境要素	成果还包含政策、主体、对象等要素
尺度效应	空间尺度、粒度等	除了尺度效应还包含其他参数

资料来源：笔者自制。



图2 协频城市作为高频城市和低频城市的复合态  
Fig.2 Data-augmented-design information model as a well-balance of high and low frequency cities

资料来源：笔者自绘。

别对应的几何测度为米制距离和认知距离。高频城市中连接分析单元（如视域、视线、领域等）的是认知拓扑距离，因为空间尺度较小，能量消耗在可承受范围以内；低频城市中分析单元的相互关系通常是米制地理距离，因为空间尺度大，能量消耗成为最重要的互动成本，与此同时，米制距离还可以与时长、花费等要素等价。而其他频度下的城市则很可能呈现出两种距离效应的叠加，需要考虑联系的两种成本。

需要指出的是，有时候频度、单元、粒度、尺度及距离的复合关系可能在一定范围内出现复杂的组合关系，进而表现为不同的空间语义特征。如人们的出行、电量消耗、房屋交易等信息，都可能在感知（空间）、视线、引力点、公共空间、建筑甚至是地块等尺度被观测或记录。但很显然，总体而言，这些数据在不同环境参数条件下所呈现出的语义则可能发生很大变化。以出行行为为例，在高频度、细粒度、小尺度，以感知、视线为分析单元，注重几何空间视角的模型环境下，出行行为可能表现出寻路行为特征；而在中频度、中粒度、中尺度，以建筑或地块为单元，注重认知距离和米制距离作用的模型环境下，出行行为则可能被细化成为起讫点的空间布局特征。

城市频度在传统规划中是一个相对固定的维度，然而在智慧城市的背景下，城市频度分异加剧，面向不同类型的数据增强设计任务的适用频度确定变成一项重要挑战。频度、单元、粒度、尺度、距离的复合设定是时空数据增强设计

决策模型的观测、分析和设计的环境参量。

## 2.2 时空数据的时间特征频度与空间效用布局

城市高频时空数据理论上可以被投影到多个时空尺度，进而呈现出不同的特征和效用。对于给定的时空数据集，它会在某一个时间频度区间，与某一个空间布局（由单元、粒度、尺度共同决定），呈现出较为稳定和均衡的特点，服务于现象的复现<sup>[14]</sup>。本文将具有稳定特点（稳定的时间变异度）的时间形态称作“特征形态”，将与时间特征形态对应的、具备空间稳定特点（稳定的空间变异度）的空间布局称作“效用布局”（见图4）。低于特征形态的频度，时间变异度增加则“噪音”形态越发明显；高于该频度，时间变异度减少则“背景”形态越发明显。与之类似，效用布局依赖于一个较为稳定的空间变异度区间，避免“噪音”布局和“背景”布局。错用极端时空变异度，将会影响数据增强设计中依赖的定量逻辑的可迁移性、可复现性和稳健性，进而为规划设计绩效的持续提升带来困难。时空变异度可以从不同的指标上进行定量测度，如时空熵<sup>[15]</sup>、变化度<sup>[16]</sup>、时空扫描统计<sup>[17]</sup>等。因此，在时空数据增强设计中需注意使用时空数据中涌现的典型形态，而非变异度较高的形态，保证数据特征的代表性，进而构建可复现的时空规律，避免人为构造相关或者因果关系，从而降低规划策略失准风险，保证

数据增强设计的科学性。因此，尊重时空数据自身在时间频度和空间尺度上的涌现规律，是保证数据增强设计成果的有效性的前提之一。

## 2.3 城市议题的需求频度与尺度

数据增强设计的一个重要目标是服务于社会经济绩效的精准提升<sup>[18]</sup>。这一精准性的落实不仅体现在时空数据分析与计算中的时间特征形态和空间效用布局，也体现在时空设定与拟涉及城市社会经济问题的自身时间频度和空间尺度的组合上。只有将曾是议题所依赖的时空要求与时空数据的稳定特征对应起来，才能建立起准确的时空归因（spatiotemporal attribution），从而利用这种时空因果关系去进一步规划与设计。本文初步解析12种城市议题在Web of Science搜索引擎中最高引15篇文章中的使用数据频度调查，展示重要文献中这些城市问题在时间频度（分、时、天、年）和空间尺度（微观、中观、宏观）双轴象限中的大致分布（见图5）。其中不难发现，城市议题在频度维度上呈现出一定的频度分布的一般规律，即大量的规划决策是高频的，而少量的规划决策是低频的。这也从侧面印证了前文讨论的时间频度与空间尺度的复合性，即我们通常较少在低频目标中涉及非常细微的个体差异，而在高频目标中则可兼容各个空间尺度。从频度视角看，人们的时空行为（寻路、步行流、交通流、犯罪等）发生以分钟和小时为频度；城

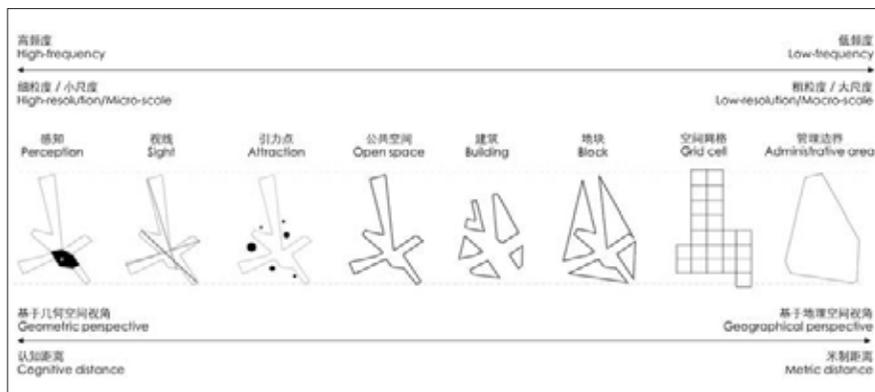


图3 频度视角下空间单元、尺度、粒度与距离定义的转换

Fig.3 Definition of spatial unit, scale, resolution, and distance in the condition of frequency

资料来源：笔者自绘。

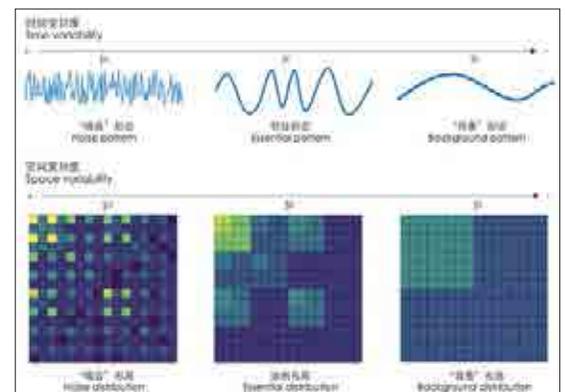


图4 城市时间特征形态与空间效用布局的涌现

Fig.4 Emergence of essential patterns in space-time variability

资料来源：笔者自绘。

市业态变化、流行病传播形态、城市韧性过程,则以天为频度;居民迁居和空间网络的变迁频率则为年,城市系统、土地利用变化、气候变化则通常在10年以上。需要说明的是,这里的频度依赖是基于研究和规划干预需求的,而非事实上某一现象的绝对事实频度,即通常城市研究和规划干预的城市议题有其可观测、可研究、可干预的某种频度和尺度需求。这些需求来自观测现象的显著程度或者事权干预的便利性,形成了对应规划设计决策需求的空间尺度依赖,如步行形态通常需要街区尺度干预,而城市交通流则不得不聚焦整个城市系统。因此,作为数据增强设计的目标,解决各类城市问题需要注意它们自身所需的频度和尺度,并将其与时空数据涌现的特征频度和效用布局进行适配,提高数据增强设计的响应能力。

### 3 频度协同的(时空)数据增强设计

#### 3.1 (时空)数据增强设计的框架

依托前文所述的基础,本文提出时空数据增强设计的决策框架,其中可以分为两部分:一是空间数据的升频,其主要任务是将传统低频数据与时空高频数据进行融合,根据频度、单元、尺度和粒度的涌现关系,确定特定空间效用布局和时间特征形态所表征的影响因子,使传统数据获得时空精细化,空间数据得以多维高频化;二是空间数据的降频,其主要任务

是将涌现出的影响因子与所涉及的城市议题表现观测数据进行时空关联,根据涌现的规律在时空维度上的异质性,确定特定规律所依赖的时空范围,进行空间精确落位,使得时空数据充分降维,形成以空间为单元的、具有形态解释意义的、具备时空响应能力的规划设计策略(见图6)。两个步骤的具体环节详述如下。

#### (1) 空间数据升频:异步数据同步化

依据规划设计目标(其中包含所需的干预要素、空间单元、响应频度、尺度和粒度等),首先开展城市初诊,判断针对特定城市议题集的低频、高频数据,根据时空变异度研究各项数据的时空频度、空间尺度和研究粒度的依赖关系。通过空间汇总、跨尺度映射、时空降维等方法,将低频、高频数据进行同步化,识别合适的空间单元和频度,平衡可解释性和行为真实性,控制时空可变单元问题和数据不确定性问题,从多频异步的原始数据中,提取涌现的、共频同步的影响因子指标。这些指标将在具有典型特征意义的频度和尺度下,尊重数据的时空涌现机理,结合可解释性和行为真实性,尽可能多地保留原始数据的多维信息,使传统低频数据充分获得时空高频数据的增强,进而高频化和多维化。

#### (2) 空间数据降频:同步数据空间化

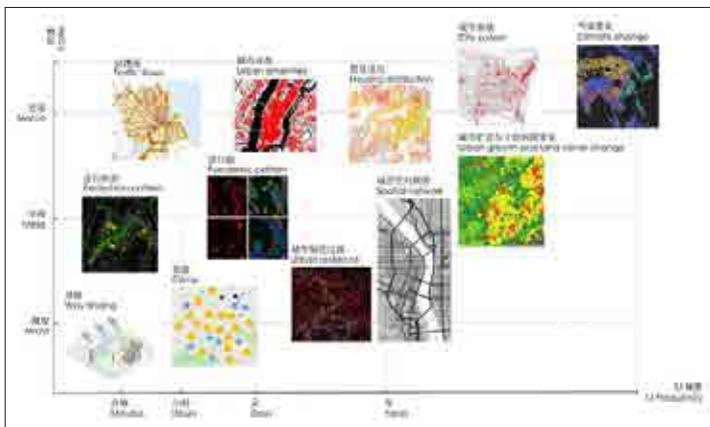
将涌现的时空影响因子指标,通过城市模型与目标观测数据指标相关联,运用空间分

析、数据挖掘、机器学习等手段<sup>[19]</sup>,获得二者的稳定关系,并将得到的显著规律进行时空模式挖掘,识别规律的主要类型和时空边界,将时空规律在有效的频度、尺度和粒度下进行落位,得到具有明确形态意义和时空响应能力的干预分区边界,并与规划设计目标所需要的频度、尺度设定相结合,得到因地制宜和因时制宜的规划设计策略。这些策略必须要有明确的空间示意,以及定量图示表明特定低频空间干预能够获得的高频效应,使规划设计充分获得时空智能的增强,以较为低频的干预支持高频空间规律的形成,进而促进高频效应的落实。

上述两个步骤结合形成截面化的一种时空数据增强设计的路径。可以将这一框架持续应用于某一规划设计,形成以规划设计成果比对为导向的规划设计预警机制,加强规划设计本身应对时空机理变化的纠偏和自适应优化能力。

#### 3.2 协频城市:面向未来的频度智能

在上述时空数据增强的框架下,城市数据与模型的频度转换实际提供了一种智能模式。这种频度智能具备以下5个特征:(1) 顺应涌现的干预:时空数据增强的规划设计应注意对于涌现的、典型时空现象的挖掘和利用,才能在规划设计干预时驱动相关涌现的动力学机制,增强规划设计的科学性;(2) 时空规律落位:时空数据具备较高的复杂性,时空数据增



注:各类城市议题的示意图所覆盖的范围即是在相关文献中出现的主要范围。  
图5 不用类型城市问题规划设计需求的时间频度与空间尺度分布  
Fig.5 Urban issues scattering against frequency and scale

资料来源:笔者自绘。

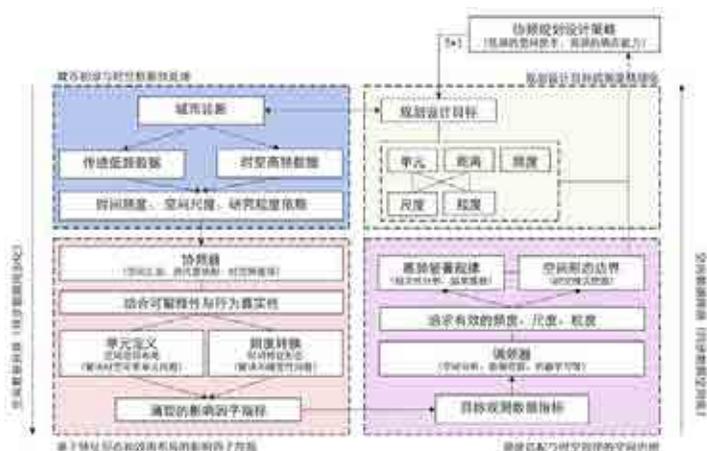


图6 频度协同的时空数据增强设计模型  
Fig.6 Frequency synergy in data-augmented-design processes

资料来源:笔者自绘。

强的设计方法应在成果阶段充分降低复杂性,以规律的空间落位为最终成果,方便指导以低频要素为干预对象的规划设计工作;(3) 同频的协同设计:时空数据增强的设计注重同一频度下不同目标的相互关系,保证同频视角下的规划设计具有相互增强作用;(4) 异频的协同关联:时空数据增强的设计可以支持面向同一城市议题,不同频度视角下的策略的相互支撑,形成复频增强的规划设计成果;(5) 跨频的知识体系:时空数据增强的设计应注重传统规划理论的时空精细化,为多频视角下的复杂城乡规划知识体系提供有益补充,并与相关方向前沿结合<sup>[20]</sup>,形成跨学科的知识体系。

#### 4 结语

智慧城市正在使城市不断高频化,而如何使用好频度智能是规划设计未来城市的一项新挑战<sup>[21-22]</sup>。本文从频度这一新视角重新审视数据增强设计的可能扩展路径,提出频度是新数据环境的重要特征,是高频城市的重要特点,是区别于传统数据的重要维度,也是未来规划设计类型的重要区别维度。频度与单元定义、空间尺度、粒度、距离指标等密切相关,它们一起构成时空数据增强设计的特征,也要根据设计目标选择合适的分析单元和特征频度。时空数据自身具有涌现的特点,存在时间特征频度和空间效用布局,而城市议题自身也具有天然的时间频度和空间尺度依赖,将二者妥善匹配是时空数据增强设计模型的重要任务。基于此,本文进而以时空数据增强设计模型试图平衡空间可解释性和时空行为真实性,以空间规律挖掘和时空边界识别为手段,获得规划设计策略的空间配置指引和具体时空策略生成,以频度协同作为提升规划设计高频响应能力的主要手段,建立跨频度的城乡规划知识迁移将高频度的可复现的新发现与低频理论归纳建立参照体系,形成具有时空针对性的、新的规划理论知识体系。频度智能将是智慧城市智能的一个重要部分,帮助我们提升城市规划设计的多频度的综合绩效,持续构建动态的、具有时空针对性的规划知识,凝练新的规划理论和目标价值。

#### 参考文献 References

- [1] 吴志强,甘惟. 转型时期的城市智能规划技术实践[J]. 城市建筑, 2018 (3): 26-29.  
WU Zhiqiang, GAN Wei. Urban intelligent planning technology practice in transitional period[J]. Urbanism and Architecture, 2018(3): 26-29.
- [2] BATTY M. Inventing future cities[M]. Cambridge: MIT Press, 2018.
- [3] 柴彦威,端木一博. 时间地理学视角下城市规划的时间问题[J]. 城市建筑, 2016 (16): 21-24.  
CHAI Yanwei, DUANMU Yibo. Time problem in urban planning from the perspective of time-geography[J]. Urbanism and Architecture, 2016(16): 21-24.
- [4] 沈尧. 动态的空间句法——面向高频城市的组构分析框架[J]. 国际城市规划, 2019 (1): 54-63.  
SHEN Yao. Dynamic space syntax: towards the configurational analysis of the high frequency cities[J]. Urban Planning International, 2019(1): 54-63.
- [5] BATTY M. High and low frequency cities, big data and urban theory[M]//WILLIS K, AURIGI A. The Routledge companion to smart cities. London: Routledge, 2020: 51-60.
- [6] 龙瀛,沈尧. 数据增强设计——新数据环境下的规划设计回应与改变[J]. 上海城市规划, 2015 (2): 81-87.  
LONG Ying, SHEN Yao. Data Augmented Design: urban planning and design in the new data environment[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2): 81-87.
- [7] ALEXANDER C. A city is not a tree[M]. Portland: Sustasis Press, 1968.
- [8] LIU Y, LIU X, GAO S, et al. Social sensing: a new approach to understanding our socioeconomic environments[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2015, 105(3): 512-530.
- [9] MICHAEL B. The new science of cities[M]. Cambridge: MIT press, 2013:13-20.
- [10] 杨滔,张晔理,秦潇雨. 城市信息模型(CIM)作为“城市数字领土”[J]. 北京规划建设, 2020 (6): 75-78.  
YANG Tao, ZHANG Yecheng, QIN Xiaoyu. City Information Modelling (CIM) as the digital territory of the city[J]. Beijing Planning Review, 2020(6): 75-78.
- [11] 牛强,夏源,牛雪蕊,等. 智慧城市的大脑——智慧模型的概念、类型和作用[J]. 上海城市规划, 2018 (1): 40-43, 62.  
NIU Qiang, XIA Yuan, NIU Xuerui, et al. Smart model: the brain of smart city and its concept, categories and function[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2018(1): 40-43, 62.
- [12] 甄峰,孔宇. “人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架[J]. 城市规划学刊, 2021 (6): 45-52.  
ZHEN Feng, KONG Yu. An integrated "human-technology-space" framework of smart city planning[J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 45-52.
- [13] 龙瀛,沈尧. 大尺度城市设计的时间、空间与人(TSP)模型——突破尺度与粒度的折中[J]. 城市建筑, 2016 (16): 33-37.  
LONG Ying, SHEN Yao. A Time-Space-People (TSP) model for the human focused, fine-resolution and large-scale urban design[J]. Urbanism and Architecture, 2016(16): 33-37.
- [14] SHUGART H H. A theory of forest dynamics: the ecological implications of forest succession models[M]. Caldwell: The Blackburn Press, 1984.
- [15] SONG C, QU Z, BLUMM N, et al. Limits of predictability in human mobility[J]. Science, 2010, 327(5968): 1018-1021.
- [16] ZHONG C, BATTY M, MANLEY E, et al. Variability in regularity: mining temporal mobility patterns in London, Singapore and Beijing using smart-card data[J]. PloS ONE, 2016, 11(2): e0149222.
- [17] CHENG T, ADEPEJU M. Modifiable Temporal Unit Problem (MTUP) and its effect on space-time cluster detection[J]. PloS ONE, 2014, 9(6): e100465.
- [18] 沈尧,卓健,吴志强. 精准城市设计面向社会效应精准提升的城市形态[J]. 时代建筑, 2021 (1): 26-33.  
SHEN Yao, ZHUO Jian, WU Zhiqiang. Precise urban design toward socially sustainable urban form[J]. Time+ Architecture, 2021(1): 26-33.
- [19] 麦克·巴迪,沈尧. 城市规划与设计中的人工智能[J]. 时代建筑, 2018 (1): 24-31.  
BATTY M, SHEN Yao. Artificial intelligence in city planning and design[J]. Time+ Architecture, 2018(1): 24-31.
- [20] 塔娜,柴彦威. 行为地理学的学科定位与前沿方向[J]. 地理科学进展, 2022, 41 (1): 1-15.  
TA Na, CHAI Yanwei. Disciplinary position and research frontiers of behavioral geography[J]. Progress in Geography, 2022, 41(1): 1-15.
- [21] 龙瀛,张恩嘉. 科技革命促进城市研究与实践的三个路径:城市实验室、新城市与未来城市[J]. 世界建筑, 2021 (3): 62-65.  
LONG Ying, ZHANG Enjia. Three ways to promote urban research and practice with emerging technologies: from the perspectives of city laboratory, new city, and future city[J]. World Architecture, 2021(3): 62-65.
- [22] SENOUSI A M, ZHANG J, SHI W, et al. A proposed framework for identification of indicators to model high-frequency cities[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(5): 317.