

2025 年第十二届中国可视化与可视分析大会

数据可视化竞赛 赛道 1-I

(ChinaVis Data Challenge 2025 - mini challenge 1-I)

答 卷

参赛队名称：信息工程大学-涂泽文-赛道 1-I

团队成员：涂泽文，信息工程大学，3121359687@qq.com，队长

邱 阳，信息工程大学，2015247892@qq.com

冯智博，信息工程大学，3615635605@qq.com

张 炜，信息工程大学，1403553763@qq.com

蒋 禹，信息工程大学，2524583115@qq.com

李 硕，信息工程大学，1843270370@qq.com

陈晓慧，信息工程大学，cxh_vrlab@163.com，指导老师

李 静，信息工程大学，brandy12367@163.com，指导老师

团队成员是否与报名表一致（是或否）：是

是否学生队（是或否）：是

使用的分析工具或开发工具：Vue.js 3 , ECharts , Leaflet , Plotly.js , Vite , D3 , Excel, Python

共计耗费时间（人天）：48 人天

本次比赛结束后，我们是否可以在网络上公布该答卷与视频（是或否）：是

1、请结合水系、气候等自然地理数据，从时空维度刻画北京生态环境的长期演化轨迹。通过图表展示如河流改道、气候波动、植被覆盖变化等重要趋势，揭示其对城市格局演化、人类活动聚落及生计方式的影响。

1.1 数据处理与框架分析以及数据说明

对于本次比赛，数据均使用出题组所提供的所有内容，数据均为 Excel 表格形式，并以古文或白话文进行信息提供，存在部分栏数据缺少以及噪声数据等情况。

对于数据处理，我们首先使用 python 程序对总体数据进行统计，保留大多数非空价值数据，并且通过分词操作对低关联性数据进行删除，由于数据量过大，我们调用通义千问线上 api，编写 python 代码，利用数据逐条上传数据并粗提取各类数据的事件、时间、地点三要素，通过使用百炼平台的可视化学院地理编辑功能来提取与标注地理坐标数据，并通过古今地名对其取得所有地点的 geojson 数据。

为了进一步规范 json 格式以及提取非结构化文本价值内容，我们还使用知识图谱制作时空图谱，同样调用通义千问 api 以及人工核实通过提取并添加对应事件价值信息作为数据库以待使用。

针对问题一，首先通过数据中水系的数据，提取其中改道的关键片段，结合给出的水系图，使用在线地理工具“DataV.GeoAtlas”手动标注出城市边界以及水系河流坐标和区域范围，转化得到水系和城市边界的 geojson 文件，将其叠加在北京现代地图的图层上。再通过主题模型 LDA 提取出历代的生类型及其出现频次，得到其统计数据，其算法如下：

$$P(z_{d,n} = k | \mathbf{z}_{-d,n}, \mathbf{w}) \propto \frac{n_{-d,n}^{(k,w_{d,n})} + \beta}{n_{-d,n}^{(k,\cdot)} + V\beta} \cdot \frac{n_{-d,n}^{(d,k)} + \alpha_k}{n_{-d,n}^{(d,\cdot)} + K\alpha}$$

同时将各个朝代生产活动的坐标取平均值，标注在地图上，作为生产活动中心。整合得到每个朝代大致的人口数据，通过三次样条插值法得到平滑曲线。基于对历史气候记录、植被类型数据以及河流水文特征进行综合量化评估。通过提取的数据中地图信息、融合古地图、水文考古数据、历史文献等多源资料，对水系、气候、植被指数、人口密度等核心要素进行时空对齐，通过相关性分析（相关系数）和量化评估，构建“自然驱动-人类响应”双维度分析模型，依托 Vue.js 与 ECharts 实现多变量动态耦合可视化。

1.2 可视化实现和分析

1.2.1 水系变迁：地理格局的塑造者

通过编写的程序，提取出了给定数据中对河流改道的描述，我们选择对北京生态环境影响最大的永定河作为主要研究点，永定河作为“北京母亲河”，其河道南迁史贯穿城市发展脉络。河道一共发生过两次重大改道，如图 1 所示。

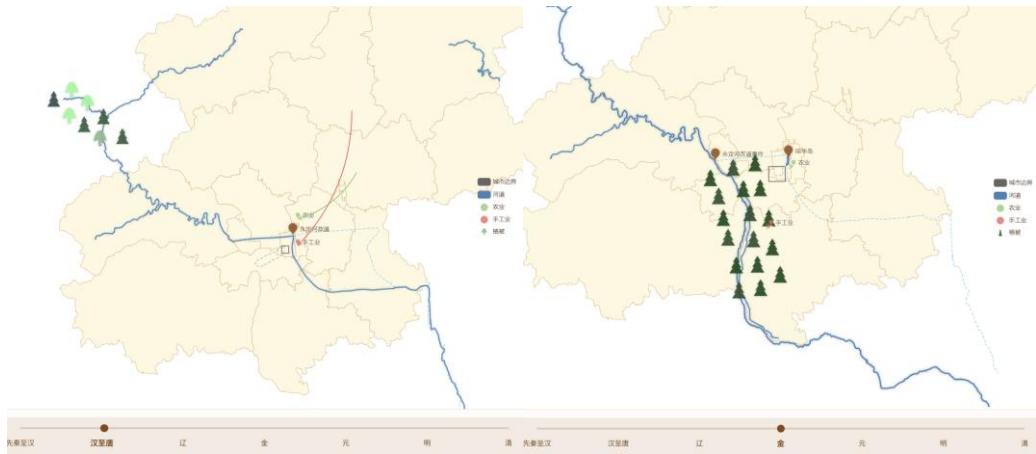


图 1 永定河两次改道

金大定年间决口事件导致河道南移 10 公里，直接迫使金中都选址向东北高地迁移，并催生护城河体系建设。元明清三代通过水利工程固定河道，形成内城“凸”字形防御格局，印证“城址随水动”的底层逻辑。

金朝期间河流改道，留下的水系生成“琼华岛”，之后城市往这个水系迁移，如图 2 所示。

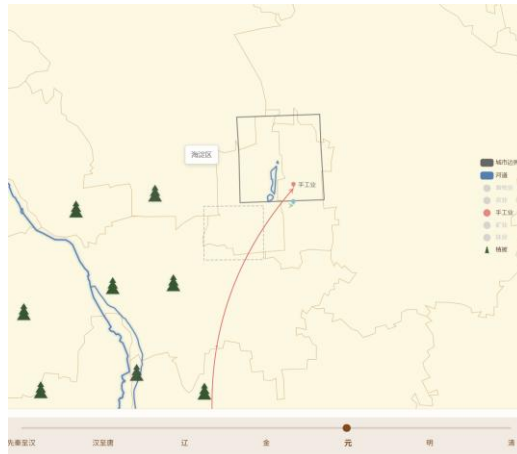


图 2 北京城市迁移

1.2.2 气候波动：生态承载力的调节器

长周期的气候波动，是塑造北京地区历史时期生态环境格局的宏观驱动因素。通过对历代人口规模与生态要素评估指数进行耦合分析可以发现，二者存在显著的相关性。在气候相对温暖湿润的时期，如唐代，区域植被以茂密的针叶林为主，生态系统展现出较高的承载力，相应的人口规模也呈现出稳步增长的态势。与之相对，在气候趋于寒冷干燥的阶段，如辽、金、元代，水系、植被等关键生态要素的评估指数明显下降，人口规模亦随之发生剧烈波动，这深刻揭示了气候变化对区域社会发展的深层制约作用。

上述结论所依据的“历代生态环境因素贡献图”，是基于对历史气候记录、植被类型数据以及河流水文特征进行综合量化评估后获取。



1.2.3 人地互动：从适应到改造的范式转变

在早期, 农业的活动中心朝着靠近永定河的方向迁移, 并种植水稻等作物; 发展到后期人类活动不再简单地依附于天然河道。如图 4 右侧所示, 在科技发展、生产技术提升的支撑下, 生产中心(特别是手工业)开始向生产条件更优越的区域高度集中。这标志着人类利用生态资源的方式从被动追随转变为主动调控, 并通过改造自然来服务于更高层级的城市发展与经济需求, 深刻体现了人地关系的质变。

图 4 农业和手工业活动中心的迁移图

综合以上可视化分析，我们得出结论：

（2）气候是关键：北京上下千年的气候、冷暖周期，都对该区域的生态承载力与人类生计模式产生了深刻影响，也造成了社会经济波动。

2、灾害、战争、大事件等常是城市变迁的重要触发因素，在完成生态环境基础描绘的前提下，请基于自然灾害记录、战争、以及大事件等数据，构建重大事件的时空分布图，识别其与城市建成区扩展、人口迁移、政权更替等关键变量的关联性等，以揭示冲击事件如何塑造城市演变轨迹。

2.1 数据处理与框架分析

研究提取战争、灾害、政权更替等事件的时空坐标，构建“时间—地点—类型”三元组数据库，利用 Leaflet 地理沙盘叠加朝代时间轴，通过热力图展示事件密度，桑基图量化事件与城市变量的因果传导，余弦相似度矩阵分析朝代间事件结构差异，公式如下：

$$\text{Cosine Similarity} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}}$$

动态交互设计允许用户拖动时间轴观察事件分布与城市响应的实时关联。

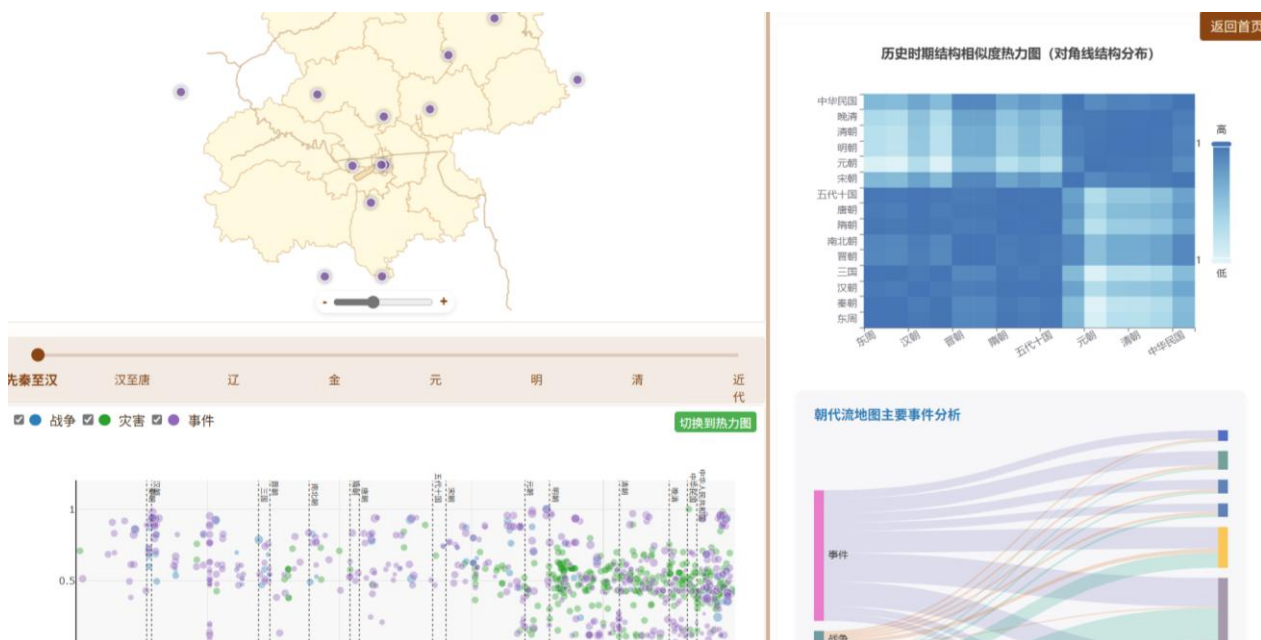


图 5 重大事件分析

2.2 可视化实现和分析

2.2.1 自然灾害频发：地理要素主导的被动适应

早期人类对抗自然能力薄弱，随着灾害事件的密度上升，城区逐渐收缩、人口迁出以下降为主基调，先秦至汉代战争事件沿永定河呈线性分布，反映“依河设防”的生存逻辑；灾害事件向东北高地跃迁，直观呈现金中都因水患被迫迁都的空间响应；伴随科技等要素逐渐壮大，城市扩张，人口快速增长，同时自然灾害随着人类开发而频发，加剧各类事件发生频率，元明清三代事件核心区锁定内城，印证都城政治中心的空间固化。



图 6-a 先秦至汉时期重要历史事件分布



图 6-b 金时期重要历史事件分布



图 6-c 清时期重要历史事件分布

2.2.2 社会发展过程中战争与大事件逐渐密集：多元事件驱动的主动重构

元代战争事件占比 31%，直接推动大都城面积扩张 40%，军事需求成为空间重构核心驱动力；明清社会大事件占比 34.8%，中央集权制度进一步强化，建立起完备的官僚体系与律法制度，人类社会迭代速度加快，推动人类思想形态迎来爆发式跃迁。

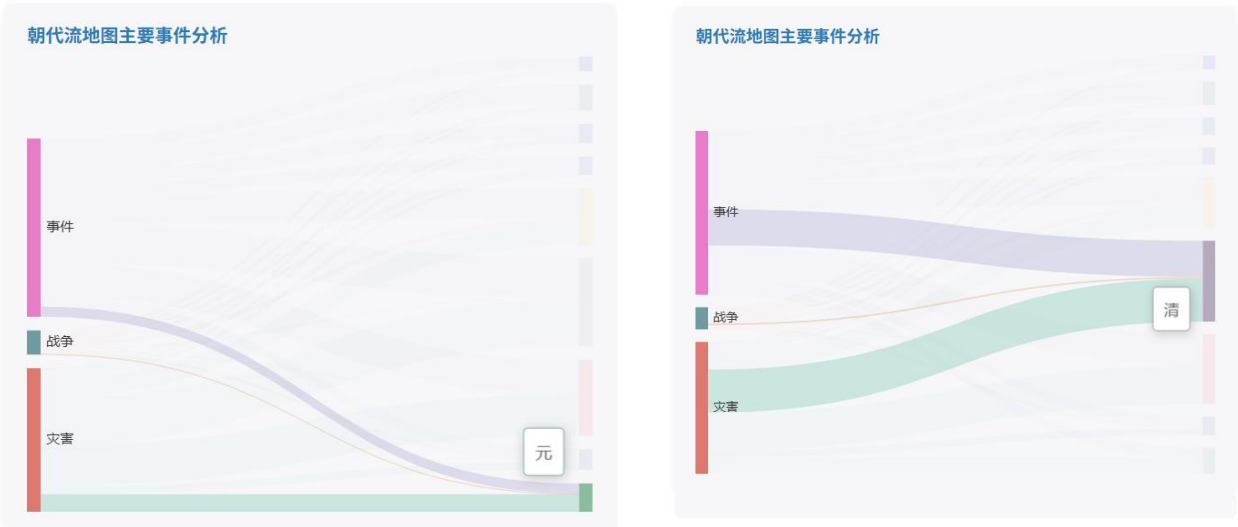


图 7 元、清时期历史事件占比流地图

2.2.3 城市演变轨迹韧性分析：人文自然间的动态平衡

余弦相似度热力图利用将各朝代的战争、灾害、社会事件归一化比例按顺序构成特征向量，依据余弦相似度计算与其他朝代的相似程度并以矩阵分析破解城市演变的阶段性密码：早期朝代，先秦至汉时期战争与灾害事件占比超 67%，结构相似度达 0.95，城市形态呈现“渐进微调”特征；宋元明清时期，政治经济各类事件占比从 25%跃升至 48%，相似度骤降至 0.86，对应城市从“军事要塞”向“政经复合中心”的转型拐点；近现代事件结构相似度回升至 0.98，治理制度成熟使灾害、战争、政治事件形成动态平衡。

历史时期结构相似度热力图（对角线结构分布）

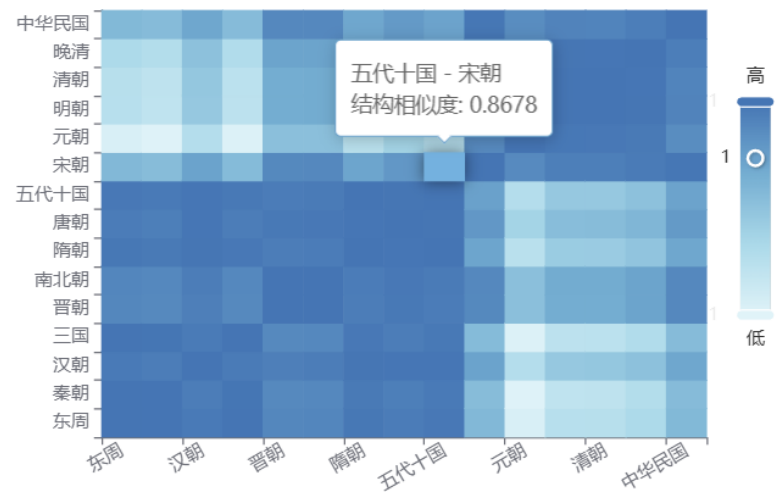


图 8 历史各朝代各类事件占比余弦相似度热力图

2.3 量化关联：事件类型与城市变量的因果矩阵

我们看到，重大事件通过“地理约束—类型迭代—制度反哺”三重机制塑造城市基因。早期受限于自然禀赋，事件以战争、灾害为主，城市空间呈现“被动适应”特征，城市扩建、人口迁移完全取决于自然因素，人类矛盾指向自然生存，此时社会内部体系矛盾弱，政权更替较慢，如辽南京因永定河改道北移 3 公里；中晚期随文明复杂度提升，政治经济事件成为“主动重构”引擎；随着城市发展人口稳定，政策要素导致社会矛盾加剧，战争以及政权更替加剧；近现代通过治理经验沉淀，事件结构趋稳，城市韧性提升。

3、在理解环境与外部冲击的基础上，聚焦城市系统内部的持续演进机制，请整合历史人口数据、交通与代表性物产分布记录，分析人口增长与流动、交通通达性变化、区域资源禀赋等因素如何协同驱动北京功能核心与城市空间结构的形成与演化。

3.1 数据处理与框架搭建

针对这一问题，首先要对数据中的原文信息进行关键词提取分析和无关数据的剔除，并对数据进行结构化处理，这一步骤我们首先通过 excel 进行初步的筛选和剔除，然后通过设计 python 程序对原文信息进行关键词提取并转为结构化数据。然后基于人口数量、交通方式、交通要道、产业类型、具体物产来描述三个主要因素之间的关联性以及影响程度，并通过绘制出的图表分析该问题，即基于前面得到的数据，通过 Vue 和 ECharts 等可视化工具来刻画数据间的关系。

该问题我们采用了三种图表：三大核心因素协同雷达图、交通通达性变化气泡图、资源禀赋的桑基图。我们通过对这三个图表的可视分析，可以深入探讨北京城市功能核心与空间结构演化的内部协同驱动机制。需要强调的是，对于每个因素的评价标准，我们根据各数据性质的差异性，进行了归一化或标准化处理，即计算各部分占总体的比例，然后用标准值与对应比例相乘得出加权值。

3.2 可视化实现和分析

3.2.1 人口增长与流动：空间格局演变的原生动力

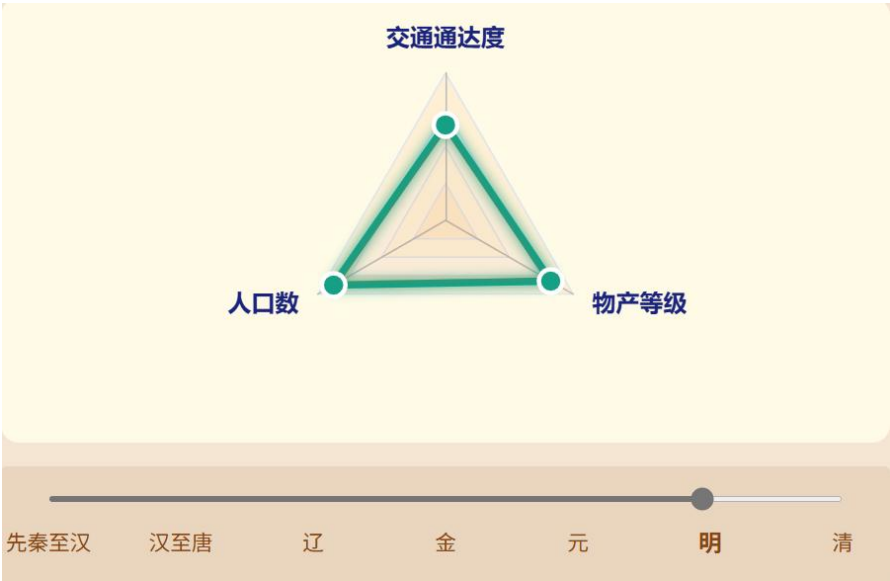


图 9 多因素协同分析雷达图

针对人口增长而言，图中的时间切片功能（时间轴）允许观察者聚焦不同历史时期的人口状况。这种设计揭示了人口数量与城市功能核心形成的紧密关系，其中人口数量总体呈波动上升趋势，反映了政治中

心的人口聚集效应，而人口密集区域往往会成为城市的功能核心，进而推动了城市空间向外扩展。随着人口数量增加，交通网络更加完善，物产等级也相应提高，三要素的相互作用形成良性循环，最终呈现动态平衡。这种协同关系直接决定了北京城市空间结构的演化路径，综合评分较高的区域逐渐发展为城市核心区，最终驱动北京从单中心向多中心的空间格局演变。

3.2.2 交通通达性变化：空间结构的骨架支撑

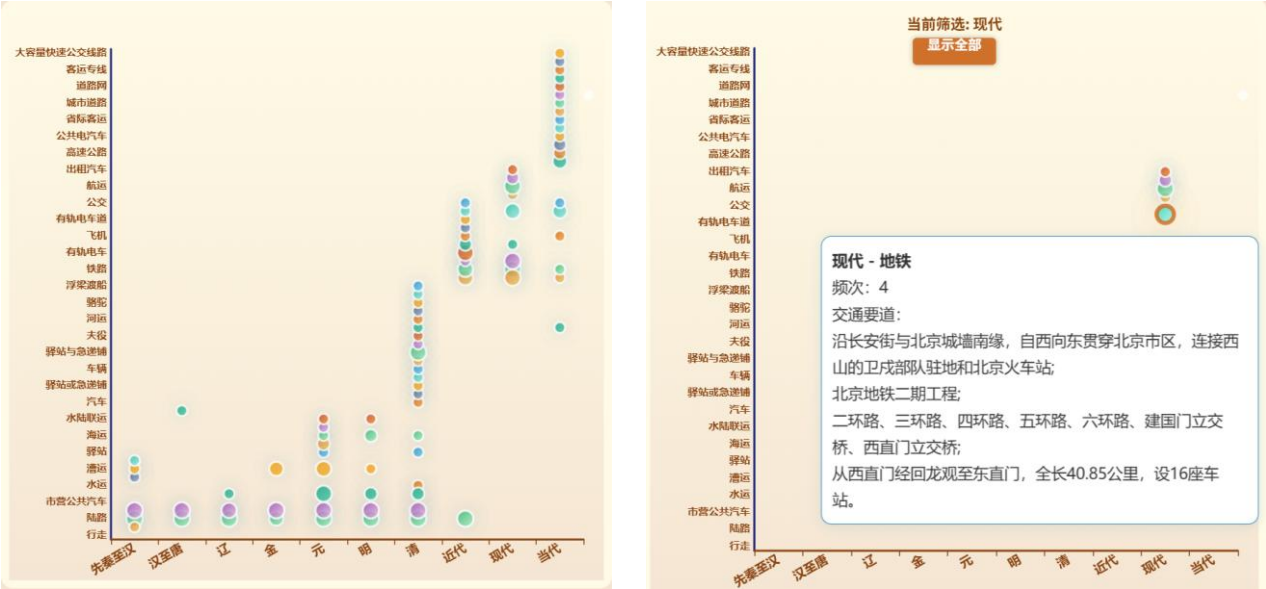


图 10 交通通达性形成与发展气泡图及单个节点的展示

北京交通方式呈现多样化演进趋势，先秦至汉以马车、步行等传统交通方式为主，交通要道简单；汉至唐则形成较为稳定的交通网络；辽金元明清交通网络逐步完善；近现代出现铁路、公共汽车、地铁等现代交通方式，交通网密度大幅提升。

对于交通要道而言，要道交汇处往往成为城市节点，主要交通干道决定了城市发展的主轴线，形成“轴线+环线”的空间格局，交通网络连接不同功能区域，促进城市功能整合与空间重构。交通技术变革直接影响空间结构调整，传统时期以步行尺度为主的紧凑型空间结构，城市规模有限；近代转型期铁路、电车等交通技术引入，拓展了城市边界，形成带状发展格局；现代发展阶段公共交通网络完善，促进了城市多中心结构的形成；当代演进阶段高速交通系统建设，推动北京发展。

3.2.3 物产资源禀赋：功能分异的物质基础

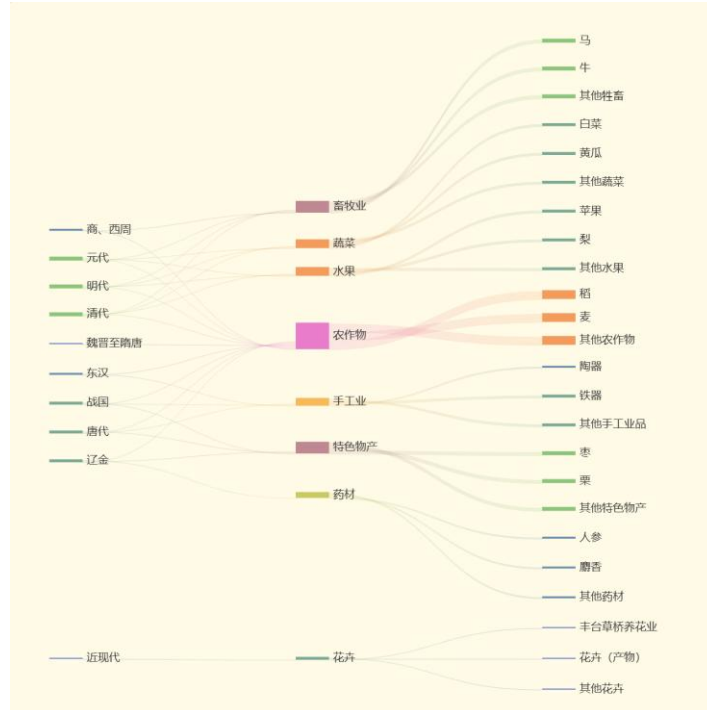


图 11 物产资源禀赋与产业演变桑基图

桑基图直观展示了北京不同历史时期的产业结构变迁。对于资源禀赋的利用方式变化，北京从直接利用自然资源到加工转化呈现明显演进，不同区域形成特色产业，如丰台草桥养花业，这种资源分布影响产业布局，进而塑造城市功能分区。在产业空间分工层面，早期城市功能布局受自然资源分布强烈影响，相似产业在特定区域集聚，形成专业化功能区，不同资源禀赋区域之间形成互补关系，推动整体空间结构优化。

3.3 因素关联：协同驱动的时空逻辑

结合可视化图表与使用的数据综合分析，可以看出：北京城市功能核心与空间结构的形成与演化是人口增长与流动、交通通达性变化、区域资源禀赋三大内部因素长期协同作用的结果。这种协同驱动机制在不同历史时期表现出不同特征，总体上形成了“同心圆+放射状”的空间格局。人口作为空间格局的原生动力，交通作为空间结构的骨架支撑，资源禀赋作为功能分区依据，三者相互促进又相互制约，共同塑造了北京独特的城市形态。这种内部协同驱动机制的理解，为我们认识城市系统的复杂演化过程提供了重要视角。

4、为进一步探讨城市治理结构 and 经济组织对城市形态的深层影响。请依据建制沿革记录与商业手工业活动分布数据等，梳理北京各历史时期的行政区划变迁、城市职能转变与经济活动中心的空间重构过程，分析制度逻辑如何嵌入城市空间与生产网络之中。

4.1 数据处理与框架分析

根据提供的建制沿革和人口数据，我首先通过对 excel 表格数据中的空值进行提取，我们设计了文本检索与提取算法从原数据中提取了从秦代至清代北京地区行政制度、手工业和商业位置及数量变化，首先，我们将数据经过数据清洗后进行转为 csv 文件，然后针对 csv 中的特定点进行提取转为 json 文件，

将原始数据按朝代进行分类整合，然后并建立联动机制，构建“制度变化-城市结构-经济组织”的分析模型，通过朝代变迁，寻找城市治理结构和经济组织对城市形态的深层影响。

4.2 可视化实现和分析

4.2.1 朝代变迁：城市结构与经济组织宏观变化

通过基于时间轴的交互式图表，选择中间的时间轴拖动，北京城同时期的手工业的位置会在上方的地图中根据繁荣程度以点的形式展现出来，选中后可呈现出手工业的具体细节信息，与此同时，在下方的时间轴中也会展示出当前朝代的行政制度，当进行选中后会根据先前提取出的文本进行对照解释。

同时，为显示出“制度变化-经济组织”的关系，下方的时间轴中还通过“双Y轴”的形式，将行政制度与人口数量联动起来，通过人口数量反映出城市的经济状况，这可以反映出行政制度不断促进经济发展，人口增长中体现出来的经济发展正对行政制度的不断完善提供反馈，二者相辅相成。



图 12 时间轴拖动组合图

4.2.2 朝代变迁：城市结构与经济组织细节变化

在对具体的城市结构与经济组织进行细节分析时，我们通过将手工业的具体位置和通过北京历史经济活动分布图与官私手工业两图相结合，我们发现官营经济主导时期，经济活动集中于北京城市周边；私营经济发展时期，经济活动沿主要街道和交通要道扩散。



图 13 北京经济活动分布图

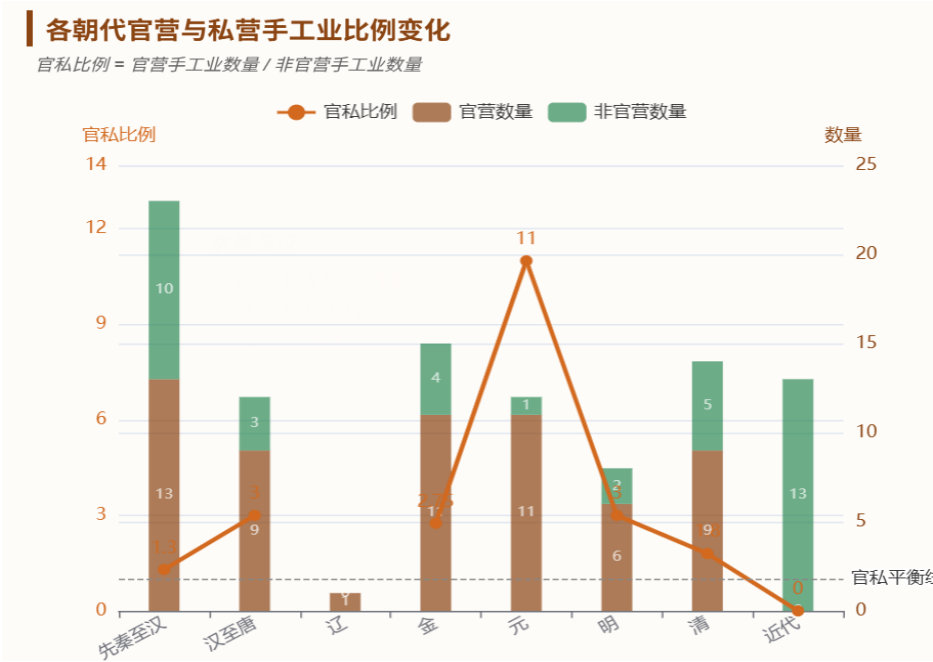


图 14 各朝代官营与私营手工业比例变化图

4.3 结论分析

4.3.1 行政区划变迁与城市职能转变

北京地区从秦代的郡县制到清代的省府州县四级制，行政区划经历了多次重大变革。从秦汉时期作为边疆重镇，前燕慕容儁（jùn）一度都蓟，辽金时期成为陪都，元代成为全国政治中心。随着北京的行政区划的等级不断提高，城市的手工业和商业的规模不断增大。

4.3.2 行政制度不断优化

从最初的分封制度，到郡县制，再到不断优化形成了省、府、州、县的四级制度，行政制度不断促进经济发展，人口增长中体现出来的经济发展正对行政制度的不断完善提供反馈，二者相辅相成。

4.3.3 制度逻辑与城市空间的嵌入关系

通过北京历史经济活动分布图与官私手工业两图相结合，我们发现：

（1）官营经济主导时期，经济活动集中于北京城市周边；私营经济发展时期，经济活动沿主要街道和交通要道扩散。

（2）水系改道与城市发展呈现互动关系，水系既是自然约束也是人为改造的结果。

综上所述，北京城市形态的演变是制度逻辑与自然环境共同作用的结果。行政制度变迁塑造了城市空间结构，经济组织形式决定了生产活动的空间分布，而自然环境则提供了基本约束和可能性。这种制度-空间-经济的互动关系构成了北京城市发展的内在动力机制。

5、在上述多维因素分析基础上，请围绕如制度改革、灾变等关键历史节点，构建具有时空双重线索的事件叙事图谱，并将其与前四项任务中提取的因素进行联动展示。总结北京城市演化中的共性机制、关键转折点与制度经验，探索其对当代城市可持续发展与空间治理的启示。

5.1 数据处理与框架分析

我们以时空维度为核心，构建二维地理沙盘与朝代时间轴联动的动态交互界面，通过左侧历史事件链线性串联关键节点并加入侧边栏补充当前朝代信息，并对事件重要程度量化后在右侧朝代地图上对标显示，用户可拖动时间轴同步观察重大事件散点分布，使用核密度估计算法获取热力图统计（以事件重要程度量化及时间轴为纵横轴）呈现某一时期各类事件分布密度，构建双维度事件坐标系，其算法如下：

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right)$$

系统支持多选框动态筛选分析内容，基于多维事件分布比例并绘制雷达图，利用事件比例归一化处理并计算不同朝代间的余弦相似度（cosine similarity），并加入更替标签，直观揭示历史回归性规律。



图 15 总分析页面

5.2 历史关键转折点与事件分布的多维特征

通过对最高密度事件区间提取历史关键转折点并提取最关键事件加入历史事件链，统计朝代分界线前后五年计算年事件密度，选择密度最高的一年作为提取对象，并筛选其中最关键事件作为关键节点，从历史事件链可视化可见，北京城市演化以制度革新与灾变响应为双主线构建时空坐标：西周至秦代通过前1046年“蓟燕分封”确立区域中心地位，奠定“制度驱动城市定位”逻辑；元至明时期元代“行省制”推动大都成为全国枢纽、明代定都顺天府使城市规模大增，时间轴滑动至“明”时行政等级变化呈现行政升级的空间映射。



图 16 历史事件链图

通过交互筛选与密度可视揭示事件时空分异：采用核密度估计法得到数据的概率密度函数，得到结果东周至秦代战争（红色点）与社会事件（青色点）占比超 60%，唐宋时期经济与文化事件显著增加，反映城市功能从军事防御转向经济文化中心；元明时期事件密度形成热力图高峰，政治事件（紫色）集中于中轴线区域，与“定都”“礼制建设”等制度事件吻合。

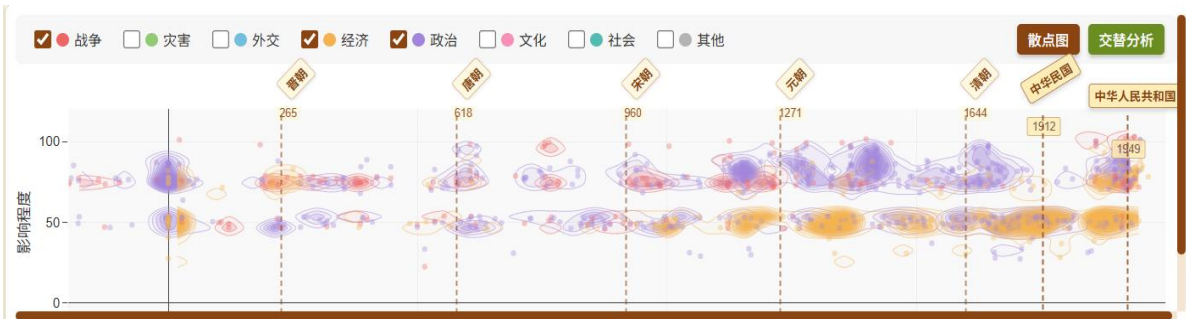


图 17 综合事件热力图

5.3 社会发展的共性机制与朝代交替的相似性模式

北京城市发展始终受永定河、燕山等自然地理条件制约，军事需求与政权更迭直接推动城市空间扩张，社会发展过程中制度创新主动与意识形态变化反哺社会迭代，将各朝代的战争、灾害等各类综合事件

数量构成特征向量，依据余弦相似度计算与其他朝代的相似程度，体现出朝代交替相似度分析量化历史周期律：“明清之交→清民之交”相似度 68%，共现“战争频发”“民生动荡”“灾害集中”模式；“唐宋之交→宋元之交”相似度仅 32%，宋代经济事件占比 35%、元代政治事件占比 40%，反映“商品经济繁荣”到“行省制度创新”的制度跃迁；相似度算法显示含“文化断层”标签时期，地图元大都遗址与明代天坛呈现空间叠压，印证“破坏-重建”的文化层积规律。

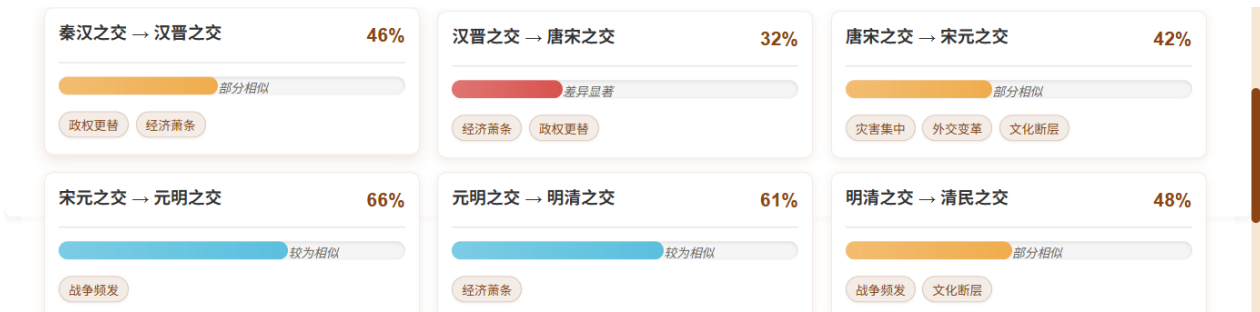


图 18 朝代事件余弦相似度分析图

5.4 历史制度经验对当代城市治理的启示

可视化体系从历史数据中提炼的治理智慧，为超大城市治理提供跨时空的综合解决方案，从秦代郡县制奠定中央集权治理根基，到元代省路府州县五级制适配广域统治需求，再到明清省府州县四级制精简冗余、提升效能，历代行政制度演变遵循“层级弹性适配—集权分权平衡—治理效能迭代”的核心逻辑这种“因势而变”的制度智慧，最终在制度供给与人口、城市发展的动态互动中，印证了“合理行政架构驱动社会稳定与空间治理升级”的历史规律。

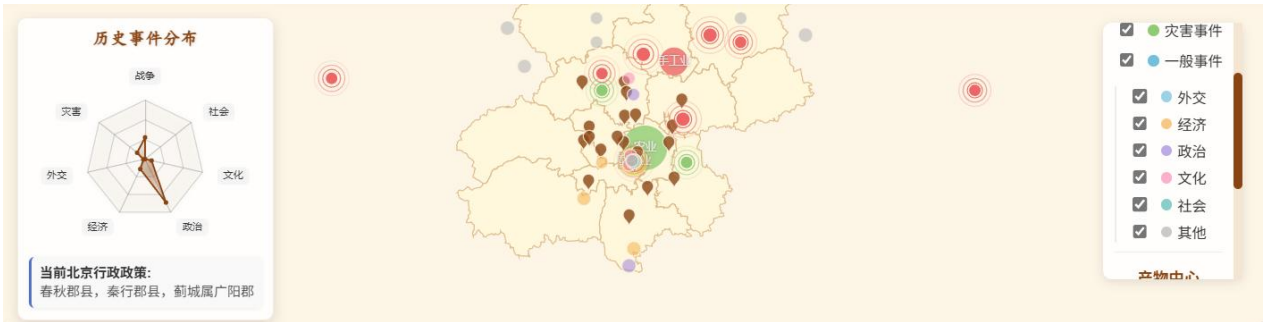


图 19 事件雷达图与事件分布地图

当代城市治理可从古代行政制度中汲取智慧：一是传承“量地制邑”思维，像明清五城制分区治理都城，现代可通过功能分级，如北京核心区与副中心分工适配空间需求；二是遵循“因势而变”逻辑，古代行政区划随人口、经济动态优化，当代需依人口流动、产业升级灵活调整功能布局；三是平衡“集权-分权”，避免古代“内重外轻/外重内轻”弊端，以顶层规划保障战略统一，借基层赋权激活治理活力；四是坚守“基层稳定”底色，如同古代县制千年延续，现代需夯实社区治理根基，同步以灵活政策。

总结而言，北京城市演化核心在于制度创新、灾变应对、文化传承的动态平衡，可视化体系通过数据联动揭示“危机倒逼转型、制度塑造空间”逻辑，为当代超大城市治理提供“历史算法化”创新范式。