

北京市生态安全格局及城市增长远景

作者：俞孔坚

摘要：在快速城市化和城市生态安全面临巨大挑战的时代背景下，构建生态安全格局是实现区域和城市生态安全的基本保障和重要途径。本文在梳理国内外生态安全格局研究进展的基础上，提出基于景观安全格局理论的北京市生态安全格局网络和城市发展空间格局。通过对北京市水文、地质灾害、生物多样性保护、文化遗产和游憩过程的系统分析，运用 GIS 和空间分析技术，判别出维护上述各种过程安全的关键性空间格局（景观安全格局），进而综合、叠加各单一过程的安全格局，构建具有不同安全水平的综合生态安全格局，形成保障北京城市和区域生态安全的生态基础设施。在此基础上，提出城镇空间发展远景和土地利用空间布局的优化战略。对不同远景进行综合评价，结果显示：基于生态安全格局的城镇空间发展格局可以维持生态过程的连续性并克服常规城市发展模式下的蔓延，基于“满意生态安全格局”（中安全水平）的城市空间格局可以同时满足生态用地、农用地和建设用地的需求，是一个同时实现精明保护与精明增长的有效工具。

关键词：生态安全格局；生态基础设施；景观安全格局；土地利用；北京

城市生态安全格局（Ecological Security Pattern）是城市自然生命支持系统的关键性格局。它维护城市生态系统结构和过程健康与完整，维护区域与城市生态安全，是实现精明保护与精明增长的刚性格局，也是城市及其居民持续地获得综合生态系统服务的基本保障。中国近 30 年的经济高速增长与快速城市化，堪称世界奇迹，然而高强度的人类活动和不恰当的土地利用方式，使脆弱的城市生态环境面临巨大压力[1]。城市生态安全格局的相关研究和实践正是在这一宏观背景下发展起来的。

国际上，早在 19 世纪末，奥姆斯特德、霍华德等人就从改善城市人居环境的角度出发，提出了“公园系统”（Park System）和“花园城市”（Garden City）等理论并开展了相关实践，对后世的城市规划和生态规划产生了深远影响。1950 年代在西方逐渐兴起的以绿道（Greenway）运动为代表的生态网络构建逐渐成为自然资源保护的新热点[2~5]。20 世纪 80 年代诞生的生态基础设施（Ecological Infrastructure）和绿色基础设施（Green Infrastructure）概念，将重要生态资源作为国土生命支持系统的关键性格局进行规划和建设，被认为是实现精明保护的重要途径。目前区域和城市尺度的绿色基础设施规划研究已在美国马里兰州、芝加哥、明尼苏达、波特兰等市展开[6]。

在我国，生态安全格局被认为是实现区域或城市生态安全的基本保障和重要途径[7~12]。近十年我国学者对生态安全格局的定义、理论基础和构建方法等方面展开了研究 [13~14]。其中生态安全格局的构建方

法是生态安全格局研究的重点和难点。基于生态适宜性和垂直生态过程进行的生态敏感性和生态系统服务的重要性分析,是关键生态地段辨识的常用方法,目前较为成熟和系统,被国内学者所广泛采用。20世纪80年代以来蓬勃发展的景观生态学为生态安全格局提供了新的理论基础和方法,包括“最优景观格局”[15]、“景观安全格局(Landscape security pattern)”和“生态安全格局”(Ecological Security Pattern)[16~17]等。由我国学者提出的“景观安全格局”和“生态安全格局”理论已在不同尺度、不同区域的关键生态地段的辨识和生态安全格局的构建中得到广泛应用[16~23]。此外,由于生态安全格局研究所具有的综合性和复杂性,包括情景(Scenario)、干扰分析、GAP分析在内的多种分析方法也被应用到研究中[24]。

生态安全格局研究的尺度和范围较广。研究区域早期集中在自然保护区和风景名胜区[18],近年来针对生态脆弱地区[25],经济快速发展地区,以及重大工程的生态安全格局[26~27]的研究逐渐增多。其中快速城市化地区的生态安全格局构建已成为生态、地理、城市规划等学科共同关注的热点。不同学者对东营、威海、菏泽、台州、兰州、沈阳等城市[20~23, 28~29]生态安全格局的构建及其对于城市扩张的响应等进行了卓有成效的探讨。

经历近三十年来的快速发展,北京面临着一系列资源环境制约,国土生态安全面临严重威胁,包括:水资源严重短缺,河湖调蓄能力明显下降;土地后备资源不足,节约性和集约化利用程度有待提高;建成区“摊大饼”式扩张,城市空间结构不尽合理;景观破碎化趋势明显,绿色空间尚没有形成有机系统等[30~32]。如何从空间上协调社会经济发展和生态环境保护的关系,实现精明增长与精明保护的共赢,已经成为紧迫而现实的问题。本研究应用景观安全格局理论和方法,探讨区域和城市生态安全格局的构建方法,并提出保障北京市生态长远安全的土地利用格局与实施战略,具有重要的理论和现实意义。

1 方法论

景观安全格局以景观生态学理论和方法为基础,通过景观过程(包括城市的扩张、物种的空间运动、水和风的流动、灾害过程的扩散等)的分析和模拟,来判别对这些过程的安全与健康具有关键意义的景观元素、空间位置及空间联系,这种关键性元素、战略位置和联系所形成的格局就是景观安全格局[16~17]。景观安全格局旨在解决如何在有限的国土面积上、以最高效的景观格局、维护土地生态过程、历史文化过程、游憩过程等的安全与健康的问题。景观安全格局包括维护生态过程安全与健康的生态安全格局、维护乡土遗产真实性与完整性的文化遗产安全格局、维护生态游憩过程安全与健康的游憩安全格局,等等。特别需要说明的是,本文以生态安全格局代替更广义的景观安全格局概念,一方面是为了强调维护生态过

程的绝对重要意义，同时也因为文化遗产和游憩过程的安全格局都是建立在生态基底之上的，因而，在这里生态安全格局在这里具有广泛的含义。

本研究针对北京市生态问题，重点研究综合水安全格局、地质灾害安全格局、生物保护安全格局、文化遗产安全格局和游憩安全格局。

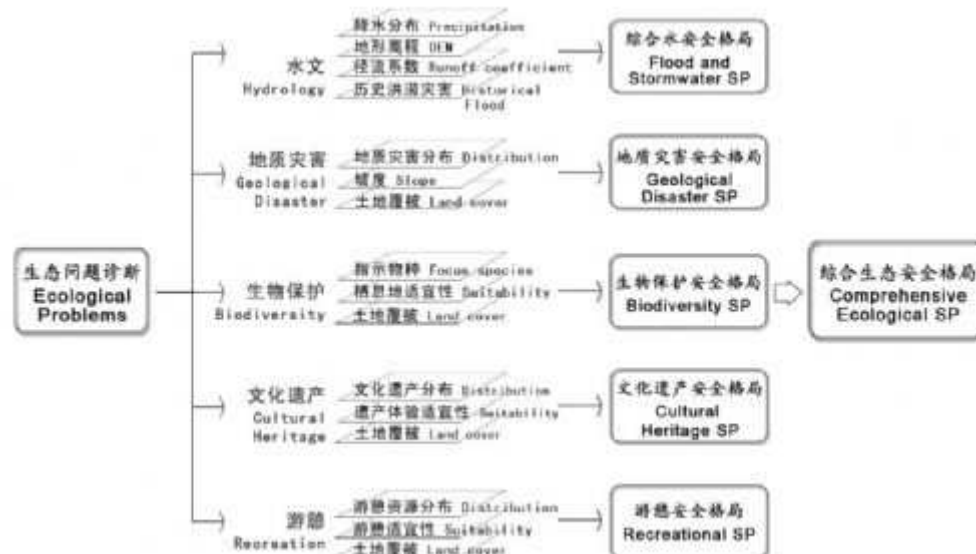
针对每个过程的景观安全格局，其具体技术路线如下[16~17]:

(1) 确定源：即过程的源，如生物的核心栖息地作为物种扩散和动物活动过程的源，文化遗产点作为乡土文化景观保护和体验的源，公园和风景名胜区作为游憩活动的源。主要通过资源的空间分布数据和适宜性分析来确定。

(2) 判别空间联系：通过景观过程（包括自然过程，如水的流动；生物过程，如物种的空间运动；人文过程，如人的游憩体验等）的分析和模拟，来判别对这些过程的健康与安全具有关键意义的景观格局，包括缓冲区、源间连接、辐射道和战略点等，并根据各格局的拐点和作用，划分出低、中、高三种不同安全水平。

(3) 提出优化策略：针对某一生态过程和安全格局的具体要求，提出空间格局和土地利用的调整策略与建议。

将 Steinitz[33]的景观规划框架与生态基础设施理论以及景观安全格局途径相结合，形成了具有可操作的北京市生态安全格局(景观安全格局)的总体研究框架（图 1）。



2 北京市生态安全格局的构建

2.1 针对单一景观过程的安全格局

2.1.1 综合水安全格局

快速城市化导致城市水文过程的根本改变：人口的快速膨胀导致水资源严重短缺；不透水铺装面积的增加致使内涝频发；雨水资源大量流失，亟待深度开发利用；地下水采补失衡，引起湿地萎缩；工程化措施对水文过程造成负面影响。城市水系统和水环境的完整与健康已成为制约北京可持续发展的关键环节。

本研究以恢复天然水文过程和维护城市雨洪安全为目标，运用 ArcGIS 空间分析技术，对洪水、地表径流等过程进行分析和模拟，构建洪水安全格局和雨水安全格局，并考虑地表和地下水源保护以及地下水补给，叠加形成综合水安全格局。

(1)洪水安全格局

综合洪水过程模拟、历史洪涝灾害分析，构建洪水安全格局。

首先，根据地形图和地形高程数据，判别现状具有调蓄洪水功能的区域，包括市域内的各级河流、湖泊、水库、坑塘和低洼地。

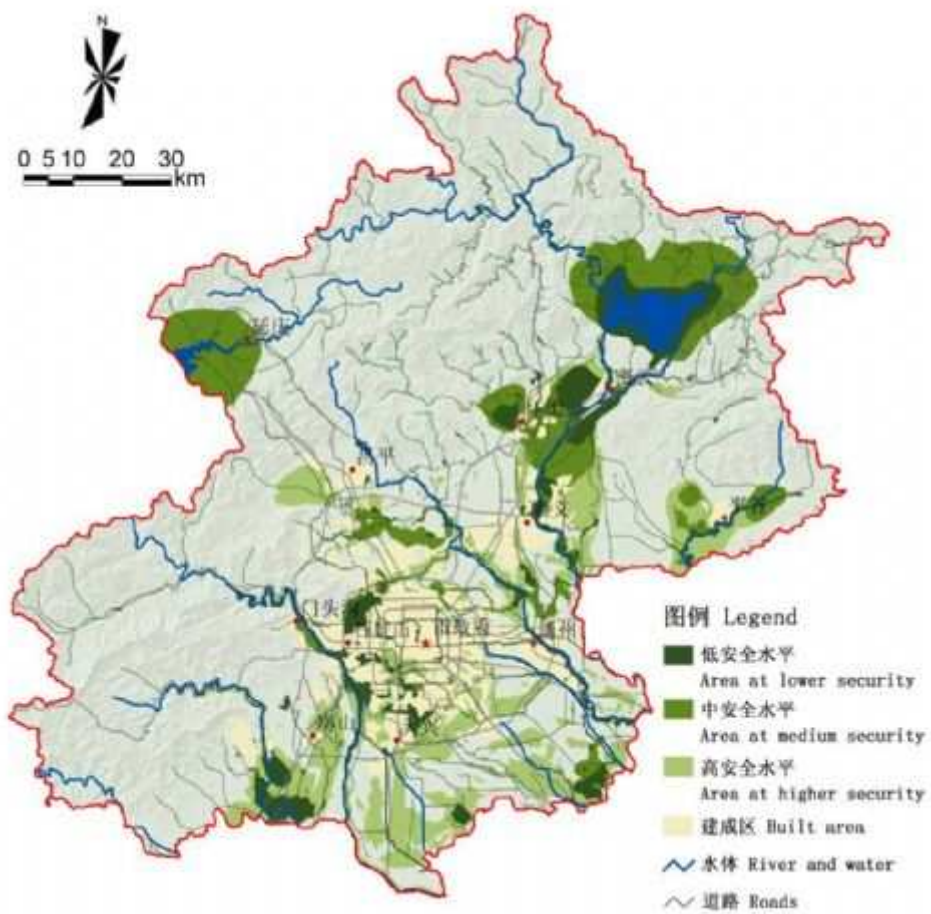
其次，根据水文过程模拟，确定径流汇水点作为控制水流的战略点，并根据分流部位和等级，形成多层次的等级体系。

第三，根据洪水风险频率确定安全水平。洪水风险频率根据城市的重要程度、所在地域的洪灾类型，以及历史性洪水灾害等因素来确定。水利部《关于加强海河流域近期防洪建设的若干意见》，确定北京城市防洪标准将达 200 年一遇。本研究根据可获得的准确降水数据及上述依据，确定了 20、50、200 年一遇作为不同安全水平的标准。结合数字高程模型，模拟洪水过程，得到不同洪水风险频率下的淹没范围，并结合历史洪涝灾害数据[34]，分析北京市历史洪涝淹没范围。将上述两种淹没范围进行叠加，确定洪水发生频率的高、中、低区域，确定出防洪的关键区域和空间位置，从而建立多层次的滞洪湿地系统，形成不同安全水平的洪水安全格局。

(2)雨水利用安全格局

通过雨水下渗适宜性分析、地下水超采区分析和山区水土流失分析，综合确定市域雨水利用的关键性空间格局，如山前冲、洪积扇等，构建北京市雨水利用安全格局，并根据不同土地利用类型制定雨洪管理措施，

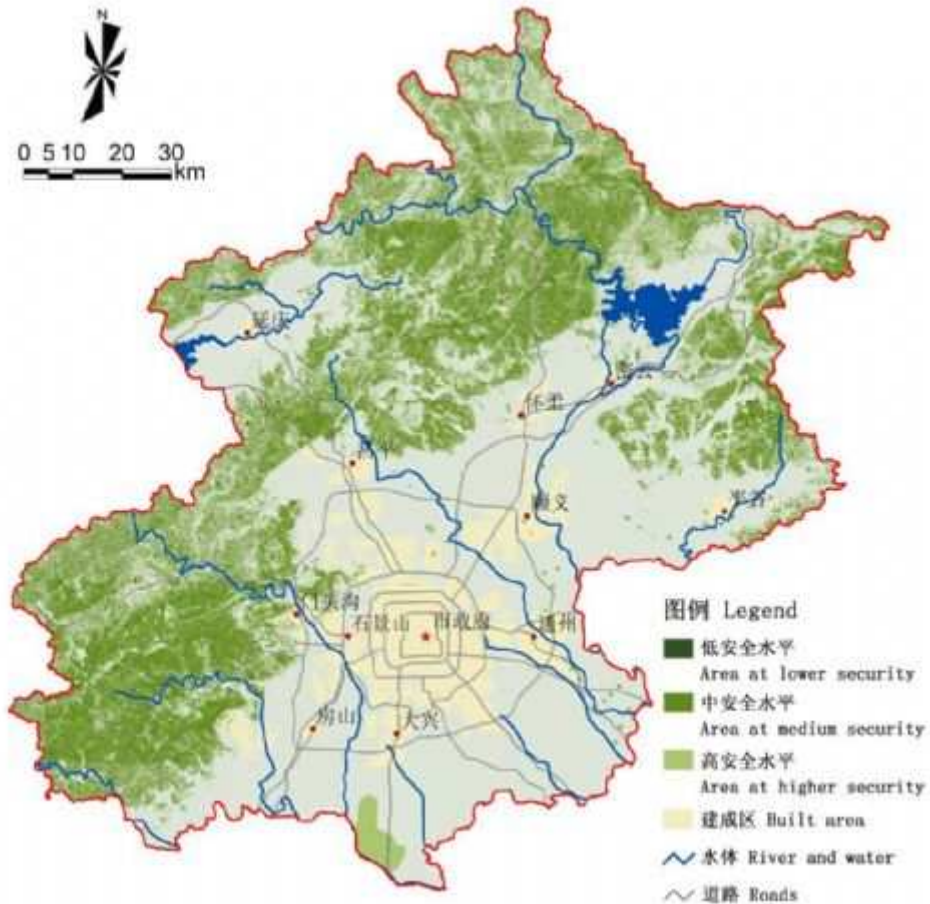
在洪水安全格局和雨水安全格局的基础上，考虑地表和地下水源保护以及地下水补给，叠加形成综合水安全格局（图2）。根据不同等级安全水平，提出了不同的限制建设要求和水生态恢复措施。



2.1.2 地质灾害安全格局

基于对泥石流、滑坡、滑塌、崩塌、矿山地面塌陷、地面沉降、地裂缝和水土流失等多种地质灾害要素的空间分布，确定地质灾害的源；通过对各地质灾害类型的诱因和灾害易发区内土地利用格局的分析，确定对地质灾害防护起关键作用的区域和空间联系。缓冲区的范围受地质灾害的类型、发育强度、分布状

况、发生频率、地形地质条件、降水条件及人类活动强度等因素影响。并据此划定了地质灾害安全格局的低、中、高安全水平，提出了相应的限制建设要求和灾害防治措施。



2.1.3 生物保护安全格局

北京市多样化的自然环境，孕育了丰富的生境和动植物资源。目前北京市的生物多样性保护面临以下问题：城建用地的无序扩张造成栖息地面积减少和破碎化；大型工程设施的建设切断了生物迁徙的廊道；自然保护区、风景区、森林公园等良好的生物栖息地之间缺乏有效连接[35]。针对上述问题，本研究从区域和景观层次上识别生物多样性保护的关键过程和空间格局，形成城乡连续的乡土生境和生物廊道系统，从而保护区域生物栖息地和生态系统的完整和健康。

通过指示物种和焦点物种（Focal species）来进行生物多样性保护，是目前国际通用的行之有效的做法[36-40]。为此，确定了本次研究指示性物种的选择标准：（1）能够指示北京市生态环境现状，并对其他物种及各类栖息地具有指示作用；（2）具有生物学上的代表性；（3）为广大众所喜闻乐见。北京市的鸟类保护级别高且栖息地多样，选取具有代表的留鸟和候鸟作为区域生物多样性的指示物种较为合适。经过

对待选指示性物种的进一步分析，最终确定以大白鹭（*Egretta alba*）、绿头鸭（*Anas platyrhynchos*）和环颈雉（*Phasianus colchicus*）作为指示物种。

根据指示性物种的生活习性，分析不同土地覆盖和土地利用类型对于生物活动的适宜性，判别现状和潜在的核心栖息地。运用最小累计阻力模型（MCR）分别模拟指示性物种穿越不同景观基面（土地覆盖和土地利用）的过程，建立最小累积阻力面。生成的阻力面表示从源（栖息地）到空间某一点的易达程度，从而模拟物种水平扩散的行为模式。根据最小阻力面，判别缓冲区、源间连接、辐射道以及战略点，构建每一个指示物种的安全格局[16~17]。最后将三个物种的安全格局叠加整合，构建起北京市生物保护安全格局（图4）。概括起来，该格局的总体建设战略包括：

（1）建立绝对保护的栖息地核心区：严格保护区域大型森林、河湖湿地生态系统，禁止城市建设和围垦侵占；

（2）建立生物栖息地缓冲区：低山丘陵地带及农田景观，是生物栖息地缓冲区的主体，应限制城市建设的过度侵占，发展生态农业和进行生态管理；

（3）构建生物廊道系统：生物廊道对于景观连接性具有关键性作用，廊道的连接性、宽度和构成应符合生物保护的要求。

（4）培育生物保护战略点：战略点包括生物迁徙的踏脚石、生物廊道交汇处、生物廊道与城市道路的交叉点等，在这些关键性节点上进行生态恢复，设立动物通道。



2.1.4 文化遗产安全格局

北京是举世闻名的历史文化名城。截至 2006 年，全市共有各级文物保护单位近 900 处，其中有 6 项被列入联合国世界自然和人类文化遗产名录。本研究通过构建北京市文化遗产安全格局，形成文化遗产保护和体验的空间网络，从而进一步保护和彰显北京的历史文化风貌特色。这个文化遗产安全格局的构成要素包括[36]：

(1) 遗产实物：本研究将北京市全部文物保护单位（包括古建筑、古遗址、古墓葬、近现代建筑等）和历史文化街区、历史文化名村作为文化遗产安全格局的“源”。

(2) 连接这些遗产而形成廊道的景观元素和潜在的点：通过专家咨询和文献研究，确定历史河湖水系和历史文化线路是北京市最为重要的线性文化遗产。北京河湖水系的变迁一直与城市发展和空间格局的演变息息相关。在快速城市化背景下，保护这些历史河湖水系，对弘扬古都风貌、改善生态环境、提供游憩空间具有十分重要的作用。历史上形成的众多文化线路，如明清御路、士人游憩路线[吴承忠，明清北京休闲地理研究，2004，北京大学博士论文，297-300]等，连接着丰富的乡土景观和文化风俗，对遗产网络构

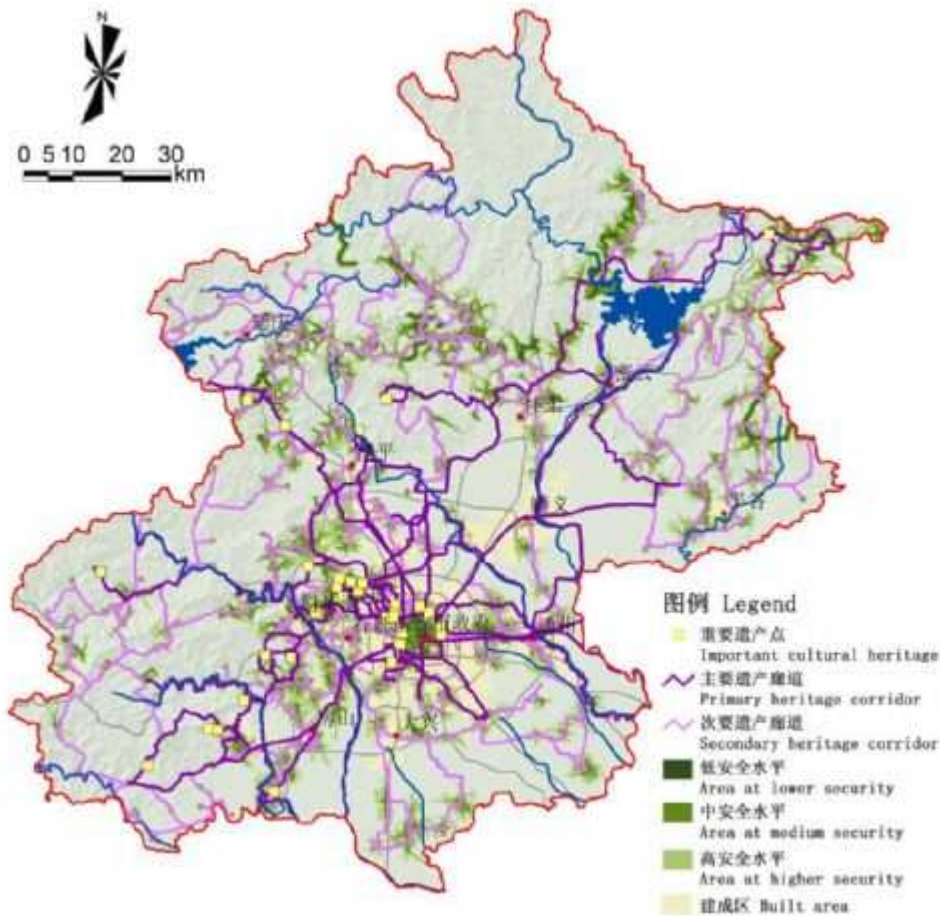
建具有重要价值。除此之外，一些具有休闲游憩价值的线性景观元素如水系、山路、乡村道路等，以及那些目前并不具备休闲价值，仅仅因为其空间关系而适宜成为遗产廊道组成部分的景观元素，对廊道规划和建设也具有一定价值。

本研究首先根据文物普查资料，建立文物保护单位和潜在文化遗产廊道的地理信息系统数据库。然后，基于土地覆盖和土地利用的不同阻力分布，运用最小累积阻力模型（MCR），模拟其空间可达性，在此基础上进一步分析确定适宜建立廊道的区域。基于廊道适宜性分析，判别出宏观尺度上北京市文化遗产安全格局（图 6）。该格局的总体建设战略包括：

（1）构建文化遗产廊道系统：以重要历史河湖水系及历史游憩线路为依托，确定市域范围的文化遗产廊道系统；

（2）保护自然山水格局：维护和发扬山水相融、自然风光与人文景观相交融的古都风貌特色。注意文化遗产和周边自然背景的相互关系，保护水系和山体的生态完整性；

(3) 游道与解说系统：廊道内尽可能采取非机动车交通，避免机动交通对步行道系统的干扰；解说系统规划和设计应具有连续性，体现被解说对象的特色；管理服务设施适度建设，注意与历史文化风貌的协调。



2.1.5 游憩安全格局

北京市游憩资源众多，但游憩资源空间分布不均衡、可达性较低，各大游憩板块和线路之间没有形成有机整体，难以满足市民日益增长的户外游憩需求。为此，本研究将文化遗产网络、绿地水系网络等具有不同游憩价值的系统进行叠加，通过空间整合协调，形成北京市游憩安全格局。

北京市域的各类公园、风景名胜区、乡土文化遗产以及山体、林地、水系等自然景观具有较高的游憩价值，本研究将它们作为游憩过程的“源”。根据土地覆盖类型进行游憩活动的适宜性分析，运用最小累积阻力模型（MCR），得到游憩可达性阻力面，再根据游憩阻力面，判别和构建游憩安全格局。概括起来，总体建设战略包括：

(1) 构建区域绿色游憩廊道系统：通过游憩廊道加强传统游憩地区的横向联系，并重点建设以水系湿地、生态休闲农业为特色的东部游憩网络；

(2) 建立城市非机动车绿色通道系统：建立城市内部沿河流、林荫道的非机动车绿色通勤、游憩廊道，以及城郊沿河流、农田防护林等构建的连接城乡的非机动车绿色通道。该格局通过游憩廊道将已有和潜在的游憩节点整合成一个完整的网络，实现各级各类游憩资源的空间均衡配置。



2.2 北京市综合生态安全格局构建

综合以上水文、地质灾害防护、生物多样性保护、文化遗产和游憩方面的安全格局，建立综合生态安全格局。以上五种广义的生态过程被认为在生态安全格局的构建时具有同等的重要性，被赋予相同的权重，将5个安全格局进行叠加，通过析取运算（ \vee ），取最大值，最终确立北京市域生态安全格局（图7）。它们形成了连续而完整的区域生态基础设施，为区域生态系统服务的安全和健康提供了保障。北京市生态安全格局所考虑的生态过程、要素和各安全水平的划分标准如表1所示，划分的标准和依据是建立在对各种自然、生物和人文过程的研究基础之上的，如洪水风险频率的通用等级划分、河流廊道的宽度的景观生

态学依据[37]、生物保护中的最少面积和最小种群等等。其中“底线安全格局”是低水平生态安全格局，是保障生态安全的最基本保障，是城市发展建设中不可逾越的生态底线，需要重点保护和严格限制，并纳入城市的禁止和限制建设区；“满意安全格局”是中水平安全格局，需要限制开发，实行保护措施，保护与恢复生态系统。“理想安全格局”是高水平安全格局，是维护区域生态服务的理想的景观格局，在这个范围内可以根据当地具体情况进行有条件的开发建设活动。

表 1 不同安全水平生态安全格局的划分标准

Table.1 Classification standards of Ecological SP at different security levels

生态过程或要素 Ecological processes/Elements		底线安全格局(最低生态安全格局) Minimum SP (ecological SP at a lower level)	满意安全格局(中安全水平生态安全格局) Satisfying SP (Ecological SP at a middle level)	理想安全格局(高水平生态安全格局) Ideal SP (ecological SP at a higher level)
水文 Hydrology	河湖水系 Water network	河道、湖泊、水库本身及滨水缓冲区 50m water network and buffer area (within 50m)	河道、湖泊、水库本身及滨水缓冲区 (50-100m) buffer area of lower SP (between 50- 100m)	河道、湖泊、水库本身及滨水缓冲区 (100-150m) buffer area of lower SP (between 100- 150m)
	洪水调蓄 Flood	模拟洪水淹没范围和历史洪水淹没范围的重叠区 Overlapped area of simulated of flood and historical flood	模拟洪水淹没范围 area of simulation of flood	模拟洪水淹没和历史洪水淹没范围 area of simulation of flood and historical flood
	地表水源保护 Water source protection	一级水源保护区 core area for water source protection	二级水源保护区 area for water source protection	
	地下水补给 Groundwater recharge	地下水补给高适宜区 suitable area for groundwater recharge at higher level	地下水补给中适宜区 suitable area for groundwater recharge at middle level	地下水补给低适宜区 suitable area for groundwater recharge at lower level
地下水源保护 Groundwater protection	地下水源核心保护区 core area for groundwater protection	地下水源防护区 buffer area for groundwater protection		
地质灾害 Geological Disaster	泥石流、滑坡、矿山塌陷、崩塌 landslide, collapse	泥石流、滑坡、矿山塌陷、崩塌中心 200 米内 Debris flow, landslide,		

	Debris flow, landslide, mining subsidence, and collapse		mining subsidence, collapse and its buffer area(within 200m)	
	地面沉降 Land subsidence		地面沉降中心地带, 累计沉降>1.0 m core area of land subsidence or subsidence>1.0m	地面沉降中心周边 200 米内或累计沉降 0.3 -1.0 m core area of land subsidence or subsidence 0.3-1.0m
	地裂缝 Ground fissure	地裂缝所在地 ground fissure	地裂缝中心地带至两侧 100 米以内的两翼地带 ground fissure and its buffer area(within 100m)	地裂缝两翼地带至地裂缝两侧 500m 的边缘地带 ground fissure and its buffer area(within 500m)
	水土流失 Soil erosion		坡度: >25? Slope > 25?	坡度: 20-25? Slope: 20?-25?
生物多样性保护 Biodiversity	环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i>	北部和西部山区林地 Forests in mountainous area	低安全格局周边 60m 范围内 Buffer area of lower SP (within 60m)	低安全格局周边 60—200m 范围内 Buffer area of lower SP (between 60-200m)
	绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	人工库塘、河流、湖泊湿地、城市大型绿地斑块内水域, 以及周边 800m 范围内的林地 water network and its buffer area of forest (within 800m)	低安全格局周边 60m 范围内 buffer area of lower SP (within 60m)	低安全格局周边 60—200m 范围内 buffer area of lower SP (between 60-200m)
	大白鹭 <i>Egretta alba</i>	人工库塘、河流、湖泊湿地以及周边 2km 范围内的林地 water network and its forested buffer area (within 2000m)	低安全格局周边 100m 范围内 buffer area of lower SP (within 100m)	低安全格局周边 100—200m 范围内 buffer area of lower SP (between 100-200m)
人文 Culture and Recreation	文化遗产 culture heritage	遗产廊道和各遗产点的核心保护范围 core area of protected culture	遗产廊道和各遗产点的严格控制范围 strictly managed buffer area	遗产廊道和各遗产点的一般控制范围 managed area surrounding the

	heritage	surrounding the protected core	protected core
游憩 recreation	核心游憩景观及游憩 高适宜区 recreational resources and area most suitable for recreation at higher level	游憩中适宜区 area very suitable for recreation	游憩低适宜区 area suitable for recreation



图 7 北京市综合生态安全格局

Fig.7 Comprehensive Ecological Security Pattern in Beijing

表 2 不同安全水平下生态安全格局的面积与比例

Table.2 Area and Proportion of Ecological Security Patterns at different security levels

生态安全格局等级 Level of Ecological SP	生态安全格局面积 Area of Ecological SP (km ²)	建设用地面积 Area of Construction Land (km ²)	生态安全格局用地比例 Proportion of Ecological SP	建设用地比例 Proportion of Construction Land	人均生态用地面积 Area of Land Per Capita (m ²)
底线（低安全水平） Minimum SP	7729	8605	47.32%	52.68%	386
满意（中安全水平） Satisfying SP	11508	4826	70.45%	29.55%	575
理想（高安全水平） Ideal SP	13902	2431	85.11%	14.89%	695

北京市生态安全格局从整体空间格局和构成要素上，可以概括为：以西、北地区山地森林和大型湿地为重要的生态源，以小型林地和湿地为斑块，通过沿水系、林带、文化遗产线路等线性元素建立的生态廊道、文化遗产廊道和游憩廊道，构成北京地区的生态基础设施网络。

3 基于生态安全格局的城镇空间格局前景

在生态安全格局研究成果的基础上，选取“无生态安全格局”和“低、中、高水平的生态安全格局”四种不同土地利用方式作为城市空间发展的前景前提，模拟未来城镇空间发展格局。“无生态安全格局”情况的前景体现了城市空间在单纯的经济活动驱动下可能的发展前景。该前景下城市空间发展不受“生态控制”等条件约束，城市空间无序蔓延（图 8）。基于不同安全水平生态安全格局的前景，主要体现了生态安全格局得以执行的情况下，城市空间可能的发展前景（图 9-11）。这三种前景下，城市各类用地对城市扩张产生的阻力取决于生态安全格局所赋予的用地属性阻力值，代表城市发展需要跨越该用地的难度，其中低安全水平格局用地阻力值最大，而中、高水平安全格局的用地的阻力值依次降低。

在前景分析的基础之上，从城镇扩张趋势、生态安全维护用地和地规模三方面对各前景进行定性和定量的分析与评价：

“无生态安全格局”下，城市建成区“摊大饼”式蔓延，周边组团与中心城区连片发展，生态资源占用较多。

“底线生态安全格局”下，由于生态安全格局严格的用地控制，保证了最低限度的生态基础设施核心网络和基本的生态服务。各城市组团虽没有完全连片，但趋势较为明显。

“满意生态安全格局”下，较好地维护了生态基础设施和生态服务，组团间由生态用地相隔。

“理想生态安全格局”下，最大限度地保护生态基础设施和生态服务，建设用地被生态用地分割呈组团式发展。

通过远景发现，除高安全水平的“理想生态安全格局”之外，其他三种远景都能满足北京市土地利用总体规划预测的 2020 年 3800km² [《北京市土地利用总体规划（2005-2020）》中确定到 2020 年北京市城乡建设用地规模为 3800 km²]建设用地的要求（见表 3）。