

人工地貌学研究进展

李加林^{1,2}, 杨磊¹, 杨晓平¹

(1. 宁波大学 城市科学系, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江省海洋文化与经济研究中心, 浙江 宁波 315211)

摘要: 随着人类改造自然能力的不断提高, 人类活动已成为现代地貌过程的第三造貌力, 人工地貌是人类造貌营力在自然地理背景下与自然营力协同作用塑造的具有人文特征的地貌体。文章从人工地貌学的提出、人工地貌营力与地貌分类、人工地貌变迁、人工地貌演化的影响机制、人工地貌的地图表达、人工地貌的环境影响等方面综述了人工地貌学的主要研究进展。并展望了人工地貌学的未来发展方向, 指出未来人工地貌学的研究需加强人工地貌学学科体系建设、人工地貌的物质构成与形态特征、人工地貌空间扩张过程及其发育规律、人工地貌的区域差异及累积地貌环境效应、人工地貌环境管理及国际比较等研究。

关键词: 人工地貌学; 第三造貌力; 人工地貌演化; 城市人工地貌学; 人工地貌管理

DOI: 10.11821/dlxb201503008

1 引言

地貌学是研究地球表层高低起伏的形态及其发生、发展、结构、营造力和分布规律的科学^[1]。随着社会经济发展和科技进步, 人类对自然的改造能力不断加强, 对地球表层原始地貌形态的影响也越来越突出, 在某些方面对地球环境的改造作用在能量量级上甚至已超过了自然营力, 并在不同自然地貌基础上形成了各种各样的人工地貌景观^[2-4]。人工地貌的形成既依托于一定的自然地貌基础, 同时又是由一系列人工地貌组成的地貌集合体, 具有明显不同于自然地貌的特征, 并对自然地貌过程产生明显的影响^[4-5]。因此, 人工地貌学已成为现代地貌学研究的重要内容。文章主要综述了人工地貌学的提出、人工地貌营力与地貌分类、人工地貌变迁、人工地貌演化的影响机制、人工地貌的地图表达、人工地貌的环境影响等方面的研究进展, 以促进人工地貌学学科体系建设, 并指导现代社会经济建设中的人为地貌过程。

2 人工地貌学的提出

人类出现后, 人工地貌也随之出现, 随着人类活动对地貌改造程度的不断加剧, 人工地貌对地球表层环境的影响也不断变大^[6]。从古至今, 由国内到国外, 涌现出众多享有历史意义的人工地貌。在中国历史文明中, 最具代表性的人工地貌莫过于万里长城和京

收稿日期: 2014-12-18; 修订日期: 2015-01-29

基金项目: 国家自然科学基金(41171073, 41471004, 40701006); 浙江省自然科学基金(Y5110321) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41171073, No.41471004, No.40701006; Natural Science Foundation of Zhejiang province, No.Y5110321]

作者简介: 李加林(1973-), 男, 浙江台州人, 教授, 博士生导师, 中国地理学会会员(ZJ098), 主要从事自然地理与海岸地貌学研究。E-mail: nbnj2001@163.com

杭大运河,除此之外,都江堰、范公堤、大沽塘等人工地貌景观 also 具有重要的历史地位^[7]。从世界文明看,古埃及的金字塔、古巴比伦的空中花园、古印度阿育王塔、泰姬陵等等,无一不是人工地貌的典型代表。自 18 世纪产业革命以来的 200 多年中,随着社会生产力的逐步提高,人类改造自然、利用自然的能力也在不断提高,极大地改造着原有地貌景观,塑造出各种具有人类作用痕迹的人工地貌景观^[8]。人工湖、运河、大型堤坝、围海造田、海底隧道、现代桥梁、高层建筑、地下工程等各种人工地貌体层出不穷,其对地球表层面貌的影响也越来越大。人工地貌的组成物质根据其来源大体上可以分为自然形成物、人类废弃物及人工加工生产的新物质 3 类。其中,人造新物质在人工地貌中的比重在不断增加。这也使得人工地貌具有完全不同于自然地貌的特征^[7]。它反应了地球表面除内力、外力形成的自然地貌之外,越来越多地出现由于人类造貌作用所构筑的地貌体^[6]。

中国学者研究人工地貌的历史比较久远,西汉年间司马迁的《史记》、北宋沈括的《梦溪笔谈》、明代徐霞客的《徐霞客游记》、清初孙兰的《柳庭舆地偶说》中都涉及人工地貌的论述,尤其是孙兰明确指出了地貌过程的人为作用^[7]。在国外,人工地貌学的研究可以追溯到 20 世纪初,以一系列论述人工地貌的文章的出现为开端。早在 1901 年, Woeikof 就探讨了自然植被清除、灌溉排水工程建设及城镇发展对自然地貌环境的破坏^[7]。1931 年, Sauer 明确指出,必须把人类活动直接看作是一种地貌营力,因为它改变了地球表面的剥蚀、堆积状况。1955 年以“人在改变地球面貌中的作用”为主题的国际会议在美国普林斯顿召开,表明人工地貌学研究已引起学术界的普遍重视^[9]。此后, Jennings 的《人,一种地质营力》、Brown 的《人类塑造地球》、Detwyler 的《人对环境的影响》和 Collier 的《地球与人类事件》都是较有代表性的人工地貌研究成果^[7]。1983 年,以 Dov. Nir 的《人,一种地貌营力:人工地貌学引论》的出版,标志着人工地貌学正式从地貌学中分离出来成为一门独立的学科^[8]。2012 年召开的美国地质学会第 124 届年会专门探讨了“人工地貌学:过去与当前人类活动的地表效应”,通过多时间与空间尺度的实证研究、综合理论述评,来更好地理解地球表层在与日俱增的人类活动中的演化特征,会议成果在“人类世”杂志以专辑刊出^[10]。该专辑既重视人类活动对地貌形态和过程影响的传统研究,又强调人类活动在时间和空间上的累积效应,为未来的地貌景观管理提供决策参考,代表了当前人工地貌学研究的一个重要发展方向。

人工地貌学是研究人类作用形成的地球表面的起伏形态、物质结构及其发生、发展和分布规律的科学^[8]。它以具有人文要素的人工地貌体为主要研究对象,体现了人类活动作为第三种地貌营力对现代地貌过程的影响^[11]。1990 年,穆桂春、谭术魁率先在国内提出“人工地貌学”概念,并且在《人工地貌学初探》中详细探讨了人工地貌学的发展、涵义、影响因素以及人工地貌的特点等问题,对中国人工地貌学的发展起到了很好的引领作用^[7]。

综上,早期的人工地貌研究注重人工地貌的概念界定、人类活动对地球上的地貌、生物、灾害等方面的影响,以及人工地貌的形成及其与环境之间的关系。尽管“人工地貌学”一词已被提出,但这门学科仍属于新兴的边缘学科,且与之相应的基础理论研究和实证应用研究仍非常薄弱。但不可否认的是,在现代地貌的形成和发育过程中,人类活动是一个十分重要的因素,它一方面可以加速或延缓地貌作用的过程,另一方面可以产生新的地貌现象。因此,人工地貌学研究的兴起对现代地貌过程研究具有十分明显的推动作用。

3 人工地貌营力及地貌分类

3.1 人工地貌营力

人类活动参与地貌演化过程的历史由来已久,但突出体现在近现代时期。随着工业革命的深入、城市化进程的加快和经济社会的不断发展,近现代地貌演化过程不再是单纯的自然过程,而是带有人类活动的深刻烙印^[12]。人类活动已经成为内外营力之外的第三造貌营力^[13]。中国著名的地貌学家严钦尚曾指出,自然地貌的发育也参杂了人类活动的要素,或是促进或是减缓,也是自然地貌发育、演化过程中不可忽视的一环^[14]。自然营力与人类活动的协同作用,成为近现代地貌演变与发展的关键,这引起了地貌学界对第三造貌营力的关注^[5, 15]。

人工地貌营力主要是指人类在生产 and 生活中通过直接或间接改变地球地貌的作用力^[16],需要指出的是,人工地貌造貌营力是在自然地貌营力基础上对自然地貌施加的人工营力,这种造貌营力随着人工地貌建设的目的和用途的不同而有所差异。这种造貌营力既有人类直接和有目的的活动而产生的,也有间接或非本意造成的,其对整个人工地貌过程的作用可分为直接的、附带的和无意的3种类型^[8]。根据人工地貌营力对人工地貌建造的作用,可将人工地貌营力分为人为风化作用、人为侵蚀作用、人为搬运作用和人为堆积作用等类型^[17-18]。人为风化作用是指人类的社会经济建设导致的地表组成物质风化速率的进一步加剧,包括物理与化学的两方面。隧道工程、采矿爆破等人类活动都可能导致岩石的机械崩解或卸荷裂隙,加剧地表物质的物理风化过程。人类三废排放则可能加剧化学风化作用^[19]。人为侵蚀作用包括直接和间接的侵蚀作用2种^[17-18],首先,人类社会经济活动直接作用于地表,并造成地表侵蚀现象。这种侵蚀作用的速率与强度往往远远大于自然侵蚀作用^[20]。其次,人类活动对地表环境的破坏激发或加强了活动区域内自然侵蚀能力。人为搬运作用主要是指基础设施建设等有目的的人类活动,通过运输工具对地表物质的搬运迁移^[17-18]。其与自然搬运作用的最大差别是物质的迁移是随人的意志和需要发生的,而非在自然营力下从高到低、从上游往下游输移,且输移能力随距离不断衰减。人为堆积作用也包括直接与间接的堆积作用2种^[17-18],前者主要是指人类有目的的直接搬运形成的地貌堆积体。后者则指由于人类活动改变了自然营力条件引起的堆积作用。

因此,人工地貌是在人类造貌营力直接或间接作用下形成^[21-22],人工地貌营力包括人类的各種建造、挖掘、侵蚀和沉积等作用,这些作用力共同塑造了地球表面的人工地貌,构成了人工地貌造貌营力系统。

3.2 人工地貌分类

随着人类改造自然能力的增强,人工地貌的类型在不断增多。根据不同的研究目标及分类原则,人工地貌可有不同的分类标准。根据物质的侵蚀或堆积情况,可将人类的城乡建设、农业生产、工程建设、资源开发等活动形成的各种人工地貌分为人工堆积地貌和人工侵蚀地貌两种类型^[17]。既有为满足人类的生产生活需要兴建修造或挖掘、疏通形成的堆积或侵蚀地貌,也有堆积人类生产、生活废物、垃圾等产生的废物堆积地貌。当然,实际形成的人工地貌更多的是二者的有机结合。如三峡工程建设,既涉及对坝底基岩的开凿侵蚀,又包括整修坝体的修建堆积。潮滩匡围海堤建设,既包括对滩涂底质的挖掘,又包括土质或石质海堤的堆积。城市人工地貌建设过程中,水泥、钢材、木材、砂石等材料建造了城市这一堆积地貌,而附近则因被挖掘而形成砂坑、砾坑、采石场等侵蚀地貌^[13]。

根据人类社会经济建设的实际需要,马蔼乃^[23]将人工地貌划分为城镇人工地貌、交通人工地貌、水利人工地貌、农田人工地貌、矿山人工地貌、油田人工地貌等类型,并认为全球化的发展使得不同国家的人工地貌表现出趋同化特征,即以理性思维为核心的人工地貌建设。各种形态的人工地貌体的有机组合,形成区域人工地貌景观^[24]。人工地貌形态对于区域规划建设、城乡布局改造、发展观光旅游等具有重要意义^[25]。基于形态学的分类原则,可将人工地貌划分为线状、面状、三维人工地貌^[26]。人工地貌具有环境功能、经济功能和景观美学等功能^[27],按功能形态进行分类,人工地貌可划分为城乡构筑形态、工业形态等9种类型,并按成因将功能形态细分出人为堆积地貌类型和人为挖掘地貌类型^[25]。实际上这种分类是基于用途的分类,没有摆脱土地利用分类的束缚。

城市人工地貌作为一种区域人工地貌类型,包括自然地貌、人工地貌与自然人工混合地貌三个子系统。20世纪90年代老一辈地理学家对城市人工地貌的分类系统做了初步的研究,提出城市地貌划分的形态成因和实用性原则^[28],将城市人工地貌分为直接和间接两类^[13],并进一步探讨了城市地貌系统各组成部分间的结构关系^[29],为多种分类系统的构建奠定了理论基础。由于人工地貌建设往往因形成大面积的不透水面而表现出其生态环境特征,同时,各种形态的人工地貌单体组合构成了丰富多彩的区域人工地貌,因此,基于“生态—形态”的人工地貌分类原则,较适合人工地貌类型的划分。在此基础上,借鉴普通地貌学的分类方法^[29],分别依据地貌名称和形态特征以及功能用途的城市人工地貌三级分类法,促进了城市人工地貌分类研究的深入^[30]。

4 人工地貌变迁

4.1 人工地貌过程

传统地貌学认为,地貌过程包括地球内力作用与外力作用过程^[1]。而随着社会经济的发展 and 人类改造地表活动的加剧,人工地貌过程则逐渐成为现代地貌过程中的重要营力,并与地球内外力作用共同影响着地貌发育,其在区域地貌过程的作用甚至已超过地球内外力的影响^[31]。尽管人工地貌的年龄是很年轻的,最老的人工地貌体也仅几千年,但人工地貌的形成速度很快,几十年、几年甚至几天^[7]。人工地貌的寿命受多种因素影响,自然的、人文的和经济的、政治的^[32]。人工地貌是在自然地貌基础上进行的加工,它的发展深受自然环境的影响,如侵蚀作用、剥蚀作用、溶蚀作用、地震等,同时也深受人类自身的进一步干预。

人工地貌过程是人类活动对地貌环境的作用和影响过程^[13]。由于人类活动对地貌环境的影响有直接和间接之分,因此,人工地貌过程也有直接与间接之分^[13]。人类活动直接改造地表环境,产生各类新的人工地貌景观的过程就是直接造貌过程。而人工地貌形成后人工地貌本身及依托于人工地貌的人类活动仍在持续不断地影响着地貌环境中的物质流和能量流,从而进一步改变着自然地貌过程的强度和方向的过程就是间接造貌过程^[13]。直接地貌过程包括堆积过程和剥离过程。间接地貌过程虽不像直接地貌过程那样直接作用于地貌环境并产生新的地貌形态,但间接地貌过程对地貌环境的作用远比直接地貌过程更为复杂,其作用和影响的范围也更为广泛。

人工地貌过程,特别是直接造貌过程具有不可逆性^[33]。直接造貌过程通常通过对原有自然地貌要素的加工改造,形成新的、相对独立的人工地貌体,并与自然地貌镶嵌于自然系统中。人工地貌形成过程中对自然地貌环境的改造作用是无法修复、不可逆转的,如劈山造城中被削平的山峰无法复原,新建的城市也不可能移动。

城市区域作为人类活动最活跃和区域^[34], 城市人类活动对于地貌环境的影响过程即为城市人工地貌过程^[13]。城市人工地貌过程也就成为人工地貌过程研究的重点内容^[34]。城市地貌过程既包括城市活动中人类直接造貌过程, 也包括因城市活动及其后果而改造城市自然地貌的间接过程^[6, 13]。城市直接人工地貌过程可分为剥离(破坏)过程、堆积(建设)过程, 剥离过程又可分为采掘、夷平、切坡、开凿、挖掘过程, 堆积过程也可分为修造、堆放和填埋过程^[35]。间接城市地貌过程则是以城市被改造后的环境因子为地貌营力而形成的城市自然地貌过程^[34]。

4.2 城市人工地貌变迁

与自然地貌形成、演化的漫长过程相比, 人工地貌的发育变迁过程相对较短。在农业社会之初, 人类对自然地貌的改造能力仍十分有限, 人工地貌仅限于简陋的住处、耕作的农田等, 人工地貌无论是数量还是单体规模都相当有限, 并且随着人类迁徙而废弃^[36]。随着农业生产技术的提高, 及古巴比伦文明、古埃及文明、古印度文明和华夏文明等农业文明的形成, 城乡聚落地貌和农业地貌的分布范围不断扩大, 路网等其他种类人工地貌的发育过程也不断加快^[6]。值得指出的是, 在人工地貌变迁研究领域, 城市人工地貌的研究一枝独秀。

随着城市规模的不断扩大, 城市人工地貌也处于不断的形成、扩张和演化之中。城市作为人类活动最集中, 受人类活动影响最强烈的区域, 同时也是地表最大的人工地貌景观分布区。城市人工地貌的形成演化研究必须同城市空间结构演变相结合, 探寻人工地貌在城市中的发展模式与规律。与城市空间演化相对应, 城市人工地貌的形成变迁是个有序的过程^[37], 其演化过程一般可分为3个阶段, 膨胀阶段、更新扩散阶段和差异更新扩展阶段^[38]。在城市形成之初, 各种建筑等人工地貌首先在交通便利、资源丰富的地方形成点状分布, 然后不断向外扩展, 形成面状地貌。而当城市扩展到一定程度之后, 由于受地形、交通等影响, 城市人工地貌内部的更新较为明显, 如旧城改造。城市人工地貌的密度、单体规模不断扩大。之后, 各区位条件较好的区块逐渐形成并连为一体, 城市人工地貌的空间分布范围也不断扩展^[34]。李雪铭等^[4]在此基础上, 结合大连城市发展历史和城市发展定位特点, 将大连城市人工地貌演化过程分为四个阶段, 分别是: 单核心扩散期、马蹄形延展期、环形带状更新、扩散期以及多核心辐射、带状发育期。大连市城市空间的快速扩展直接导致了大连城市人工地貌的扩展。从平面形态扩展看, 城市人工地貌从中心城区向周边的推进增长方式包括同心圆式蔓延、局部扇面式扩展、廊道式辐射、飞地式增长以及粘合式填充^[39]。在平面扩张的同时, 也表现出典型的垂直生长特征^[40], 即城市中心区人工地貌的垂直扩张呈现出不同的发展时序和增长模式, 城市人工地貌的垂直增长具有明显的阶段性特征^[41]。当然, 城市人工地貌的平面扩张与垂直生长在空间上可能是同时存在的, 并最终形成整个城市人工地貌景观格局。

当然, 城市人工地貌的演变不仅包括城市人工地貌体扩展的过程, 而且涵盖了城市人工地貌体的收缩、减少、消失的过程, 例如城市拆迁和老城改造, 它们同样反映的是城市人工地貌更新、重组的过程, 也反映了人工地貌体在城市发展中的变迁过程。由此可知, 城市人工地貌演变过程的实质在于城市地貌结构的改造、更新与优化^[42]。

5 人工地貌演化的影响机制

5.1 人工地貌过程的影响因子

人工地貌是基于自然地貌基础上形成的地貌单元。因此, 人工地貌过程离不开自然

地貌基础。港口选址需要考虑沿岸水深和背后腹地条件^[43], 滩涂围垦需要选择开阔的淤涨型潮滩^[44], 城市选址需要稳定的地质构造条件与相对平坦的地势^[45]。但随着人类社会不断发展和对环境的影响与改造程度的加剧, 人工地貌过程的强度及其分布范围也不断增大。科技进步使得人工地貌建设受自然地貌基础的影响逐渐减少, 因此, 人类社会经济因素便成为人工地貌过程中的重要影响因子。Dov Nir曾通过对37个国家的人类活动对地貌环境的作用强度分析, 认为人口增多、科技进步与社会经济发展水平的提高是影响人工地貌过程的决定因素^[8]。

从人类出现到旧石器时代末期、新石器时代到工业革命之前, 再从工业革命到现代, 人口增长分别呈现出相应的对数曲线, 这表明人口增长的3个时期与3次主要的技术革命年代相对应, 人口数量的增长与社会经济发展也表现出明显的相关性^[6]。而人类需求和生活水平的不断提高也使得人类对自然地貌过程的影响范围和程度不断加强。12000年前的早全新世, 人类在进行原始狩猎生活的同时, 就开始有意识地采集野生小麦进行作物栽种, 改造着地表环境, 但这个时期对地表地貌环境的影响是局部的, 并且以短期的影响为主。而从5000年前开始进入到农业社会^[6], 灌溉农业的发展, 金属工具的使用、犁和独轮车的推广、路网的建设及风能、水力资源的利用, 使得人类活动对局地地貌环境的改造和影响逐渐变得长期。而18世纪60年代开始的第一次和19世纪70年代开始的第二次工业革命以来, 蒸汽机的使用和工业化的发展, 钢铁工业的发展、铁路网的建设、电能和内燃机的使用, 使得人类能在更大的区域范围内对地貌环境变化产生持久影响。而20世纪四五十年代开始的以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用为主要标志的第三次工业革命, 则使得人类对地球表层环境产生永久性, 甚至是不可逆转的影响。工业革命以前, 人类对地貌的影响是缓慢增加的, 这种增加主要是农业活动的间接后果为主, 但工业革命彻底改变了这种模式, 主要表现在随着人口的指数增加, 人类挖掘的地表物质总量呈直接上升^[6]。在过去的500年间, 地表被挖掘移动的物质足以堆成高4000 m, 宽40 km, 长100 km的山脉。由于目前的速率仍在不断上升, 预计再过100年就将翻倍^[46]。这一切表明, 社会经济发展水平的提高和科技的进步是导致人工地貌过程加速的重要因素。

5.2 城市人工地貌变迁的影响机制

城市区域是人工地貌过程和人工地貌演最为典型的区域, 城市人工地貌变迁是人工地貌过程研究的重要领域^[4, 13], 对于人工地貌过程的探讨具有重要的意义。城市扩张是多重因素综合作用的结果, 在不同的城市发展阶段, 主导城市扩展的因素也会有相应的变化^[47]。因此, 城市人工地貌变迁也是多因素协同作用的结果。城市人工地貌变迁的影响因子自城市出现就受到普遍的重视^[48]。

城市地质地貌条件、不同性质和不同强度的地貌过程、国家政策、城市规划以及经济发展水平对城市人工地貌发育的基础作用已被普遍认可^[27, 47]。自然地质地貌是城市人工地貌变迁的首要限制因素^[4], 基于自然地质地貌条件的城市地貌过程强调自然地理条件对城市人工地貌发育变迁的基础性影响, 后两个因素则是人为影响因子, 对城市人工地貌体的空间布局产生决定性的影响, 并体现了城市人工地貌建设的有序性、前瞻性和持续性等特点^[27, 47]。城市人工地貌体的发育速度和规模同经济发展具有一定的相关性^[49]。基于城市人工地貌对城市化响应模型得到的城市人工地貌发育与城市化进程具有明显的耦合关系, 明确了城市人工地貌在城市化作用下的发育规律^[50]。城市人口变化对城市人工地貌变迁的影响主要体现在人口增长与建筑面积、人口增长与建筑高度之间的关系上。

随着城市人口的增长,城市人工地貌建筑面积也表现出相应的增加,但人口分布与建筑面积的关系在城市中心区及近郊区具有不一致性。同时,城市人工地貌还通过增加建筑高度来适应人口的增长^[4, 51]。

6 人工地貌的地图表达

与自然地貌一样,人工地貌亦需要以地图的形式来直观地表达其分布、演化和发展规律。人工地貌图既是人工地貌过程强度及其空间分布研究的手段^[29, 52],也是城乡规划和社会经济建设管理的基础性图件^[53]。因此,人工地貌图的编制,需要依托于传统的地貌图,在编制的方法、思路上大量借鉴传统地貌图。

人工地貌图的编制,需解决人工地貌的分类原则与图例系统^[54]。只有形成统一的人工地貌分类体系,才能提高人工地貌图在城乡规划和社会经济建设管理中的应用。借鉴普通地貌学原理,根据各种高差起伏的人工地貌体的组合形态,结合绝对高程与相对高程,可将人工地貌类型划分为人工地貌体“山脉”、人工地貌体“丘陵”、人工地貌体“盆地”、人工地貌体“沟谷”、人工地貌体“台地”、人工地貌体“孤峰”和人工地貌体“孤丘”等类型^[53]。此外,人工地貌图编制还需确定统一的图例系统^[54],以利于不同区域的比较分析。而信息技术的发展与计算机辅助制图则为人工地貌图的绘制提供了技术支撑^[55]。

由于城市是人工地貌分布的集中区,城市人工地貌的分布、演化及其发育规律十分复杂,通过绘制城市人工地貌图可以有效地表达城市人工地貌的分布、空间演化特征。关于城市人工地貌制图,自20世纪80年代以来,许多学者作了有益的探索^[4, 54-57]。城市人工地貌制图按“以形态划分为基础,成因与形态相结合”的分类原则^[24],进一步参照人工地貌特性的差异,用不同的线或面状符号叠加在自然地貌之上,经综合后给予明确的城市地貌类型名称,既清楚地表达了城市自然地貌和人工地貌的分布轮廓与形态组合特征,又能明确各种地貌类型的细部结构及其成因与组成物质。

近年来,城市人工地貌研究者在城市人工地貌制图方面作了较为系统的探索,主要表现为利用Surfer 7.0和MapInfo、MapBasic等相关软件绘制城市人工地貌系列图^[53, 55],涉及反映城市人工地貌发展状况和演变规律的城市人工地貌等值线图、剖面图、相对高度图、城市人工地貌富积指数图等,较好地实现了利用地图反映城市人工地貌特征信息的目标。由于城市人工地貌是在城市自然地貌基础上形成的地貌单元,并按一定规律镶嵌在城市自然地貌之上。因此,城市人工地貌与城市自然地貌组合形成的城市地貌图更具实际应用价值。城市地貌图一般包括以平色表示的基础自然地貌层、以面状符号表示的人工地貌层和以各种颜色形态符号表示的必要地理要素层等图层^[58]。

考虑到中国现代地貌制图研究现状^[59],城市人工地貌系列图的出现有着重大的意义。这既是借鉴普通地貌学的制图系统,在城市人工地貌制图方面进行了开拓性的研究;同时也体现了城市人工地貌制图编制在标准化和规范化的道路上迈出了重要的步伐,可为城市人工地貌的深入定量研究提供新的研究工具,并拓展城市人工地貌学研究的新方向。当然,人工地貌图的制作前提在于人工地貌信息的提取,人工地貌信息量化的过程中涉及到历史数据的查阅和人工地貌信息的量测,以及地貌特征值的提取及验证等过程。故此,人工地貌制图在信息量化方面还有许多后续问题有待研究。

7 人工地貌的环境影响

人工地貌建设由于增大了地表受到的破坏力,减小了地表抵抗力,从而扰动甚至破坏了地貌形体与地貌过程之间的相对平衡,导致地貌环境的变异敏感性增高、持续利用性降低、对变异的承受弹性降低^[60-61]。在人类影响无所不在的今天,人工地貌学不仅要研究人类改变自然地貌形态、地貌过程的方式,而且要研究如何改变人类的作用方式,以通过其正负反馈来更好地资源化利用地貌景观^[20]。

尽管早期的人类活动常常被忽视,但其影响却仍保留至今天。当今的城市及农村的发展及相应人工地貌的形成可以被理解为是历史上人类活动对地貌环境影响的延续^[62]。早期的人工地貌的环境影响研究主要集中在人类对河流系统及其他景观过程的研究^[63]。河槽上的水坝建设的影响、森林砍伐导致的水土流失、农业生产导致的土壤侵蚀是理解人类作为一种地貌营力塑造人工地貌的典型示例^[10]。Hooke等利用联合国粮农组织1960年以来的数据,综合估算了由人类基础设施建设直接或间接导致的全球地表地貌变化,结果表明地球表面陆地面积的53.5%受到人类活动影响并在一定程度上形成人工地貌^[64]。Wohl指出,无处不在的人工地貌过程的影响甚至在我们认为未受干扰的国家公园、森林等自然保护区也存在^[65]。

人工地貌建设形成的间断性沉积波动被定义为“人类遗存沉积”^[66],这种沉积作为一种历史性的标志存在于许多地貌景观斑块中。这种人类遗存沉积不仅可描述人类改变沉积物通量的方法,而且能将不同时间与空间尺度上的不同地貌景观联系起来。人工地貌的环境影响可分为直接环境影响和间接环境影响。前者表现为通过人工地貌体的建造改变自然地理环境,其结果是直观的地貌体的改变^[60]。这种影响在人工地貌体分布较为集中的城市与海岸区域表现得尤为明显。不同于人工地貌过程对地表环境的直接改变,间接环境影响一般需借助现代技术手段监测。人工地貌的间接环境影响涉及对局地小气候的影响、沉积环境的影响、水文过程的影响等^[67-69]。

在城市区域,城市人工地貌建设,特别是自然地表的硬质化改变了下垫面性质,产生城市热岛,导致城市气温的逐渐升高及城市风速的降低,影响城市小气候^[67]。由于水库中的沉积物记录了人类活动对沉积物输送的影响,因此,水库沉积记录结合现代流域泥沙能量模型可较好地评价一定时期内区域人口变化、人类活动强度及人工地貌的阶段特征。在更加小的尺度上,利用沉积记录与侵蚀模型可用于人工地貌建设对城市林区侵蚀的影响研究^[68]。占美国城市面积近30%的城市林区,有比其他林区高得多的侵蚀速率^[69]。这种高侵蚀速率是由于城市基础设施建设形成了不透水面,使得暴雨的侵蚀力增强或者森林砍伐遗迹导致林地坡面抗侵蚀能力降低造成的。

在海岸区域,海岸人工地貌取代海岸自然地貌,改变海岸带地区地貌演化过程和规律,重塑海岸带附近地貌结构,导致物质结构和地貌特征发生改变,引起海岸环境的整体变迁,甚至恶化。相关影响包括海岸地貌淤蚀趋势的改变、滩涂湿地功能的退化、海洋污染范围的扩大、生物物种的减少等^[70-71]。而海岸人工地貌建设的盲目性和非理性往往是人工地貌建设影响海岸环境的最主要原因。如不合理的人类围垦、筑坝可能加剧海水入侵、河口泥沙淤积的海岸环境问题^[72]。特别是河口三角洲地区,人工地貌建设改变了沉积物的输送过程与趋势^[73],从而影响着三角洲自然生态的发育过程^[74],对河口自然生态系统的干扰和影响日益突出,生态灾害日趋严重^[75]。

因此,对于人工地貌的间接环境影响研究而言,定量分析显得非常重要。由于人工地貌间接环境影响的多样性,利用遥感与GIS技术,综合多学科知识进行耦合研究,不

仅能较好地解释过去和当前人工地貌建设的影响, 而且能预测将来日益增多的人类与地球表层之间相互作用产生的地貌形态与地貌过程^[10]。

8 人工地貌学的研究展望

人工地貌的存在由来已久, 尽管对人工地貌的系统研究历史较短, 但由于其实际应用价值及其对自然地貌的强烈改造, 人工地貌研究已引起学术界的关注。但其研究对象、研究内容、研究方法、研究的理论体系等问题仍有待于进一步论证, 人工地貌学也有待于被学界普遍接受。因此, 当前亟需借鉴相关学科的研究成果和现代地理信息技术, 提升认知人工地貌的水平, 挖掘人工地貌学存在的生命力与学科特色、学科意义, 进一步提高人工地貌学理论在地貌学、环境学、城市规划等相关学科领域的认可度, 促进多学科研究的共同发展与进步。未来人工地貌学的研究应以人工地貌体为基础, 围绕人工地貌体的相关属性, 从单体的结构、特征、影响因素、发育规律等方面进行深入的探索, 再联系外在的人文要素和自然地貌背景, 将单体纳入到整体环境之中探寻各种要素之间的相互关系, 从而深入理解人工地貌体演化的过程及其环境效应, 把握其发育的规律性, 为城乡规划和社会经济建设服务。未来应重点考虑以下几方面的研究。

(1) 人工地貌学的学科体系建设研究

尽管人工地貌研究已取得了大量的研究成果, 并为城乡建设与社会经济发展做出了一定贡献。但人工地貌学, 无论是理论研究, 还是实际应用都滞后于社会经济建设实践, 影响着人工地貌学学科体系的建立。因此, 未来应注重人工地貌学的理论与方法体系研究。此外, 人工地貌学是自然与人文的交叉学科, 必须突破地貌学的研究界限, 寻求新的研究视角, 吸收人口学、资源科学、环境科学、城市规划、土木工程学、建筑学、管理学等学科的有益内容, 转化为人工地貌学科内的有机组成部分, 发展不同于自然地貌的概念和理论, 形成自身的理论体系, 把人工地貌学作为区域地貌学的一个新兴分支学科加以论证^[76]。尽管城市人工地貌学、海岸人工地貌学研究也已取得一定成就, 但人工地貌学的分支学科的分类体系还有待构建。

(2) 人工地貌物质构成与形态特征研究

人工地貌的组成物质具有不同于自然地貌的特征。除了自然物质外, 还包括人类废弃物和人类主观产物, 并且后两者在人工地貌物质构成中的比例越来越大^[7]。随着科学技术的进步, 组成人工地貌的人类废弃物和人类主观产物的种类也不断增多, 其对人工地貌过程本身的影响, 及其对自然地貌过程的影响研究亟需深入。此外, 人工地貌组成物质的差异, 使得不同时期营造的人工地貌, 无论其单体规模、形态特征都有很大差异, 需要探讨人工地貌物质组成与地貌形态之间的关系。

(3) 人工地貌空间扩张特征及其发育规律研究

人工地貌过程研究是分析一定时期内人工地貌的空间扩张特征的基础。因此, 需从自然地貌形成演化、区域社会经济发展需求、新材料的应用及工程技术条件革新等方面辨析不同时期人工地貌的内外营造动力系统, 分析造貌内外动力的作用时限(效)及其对人工地貌空间扩张的影响及特征差异, 探讨人工地貌发育规律。人工地貌的空间扩张及发育过程中伴随着人工地貌体的变迁, 而这种变迁与自然、人文、经济和政治等因素的关系也非常值得探讨。

(4) 人工地貌的区域差异及累积地貌环境效应研究

人工地貌学与传统地貌学研究的最大差别是人类活动成为内外营力之外的第三造貌

营力^[38]。人工地貌学的区域差异研究,既要考虑不同自然地理条件对人工地貌建设的影响,同时还需考虑不同人类活动方式对人工地貌建设的影响。人工地貌所涉及到的诸多问题都与人类活动有关,而人类历史和地貌发育期相比却十分短暂。因此,人工地貌学研究中需注意不同区域能量流和物质流的方向、速度、大小及其波动对现存地貌发育的影响。人工地貌环境效应研究不仅要研究人工地貌过程的环境效应,还应包括人工地貌建成后的环境效应,分析不同时空尺度下的区域差异及累积效应^[77],尽量减少其对自然地貌环境的负面影响。

(5) 人工地貌环境管理及国际比较研究

随着人工地貌研究的深入,人们对人工地貌及其环境影响的认识逐渐加深,如何科学有效地进行人工地貌环境管理将成为人工地貌学研究的一个新的研究领域^[25]。人工地貌环境管理需综合考虑人类社会经济建设及城乡规划对自然地貌的侵占和改造,分析人工地貌环境系统的脆弱性,并提出相应的管理对策。而由于人口数量、资源压力的差异,不同国家的人工地貌环境管理也可能存在较大差异,借鉴国外人工地貌建设的先进经验,有利于提出符合中国国情的人工地貌研究的相关理论与管理对策,服务于地貌资源的持续开发利用。

参考文献(References)

- [1] Chorley R J, Schumm S A, Sugden D E. *Geomorphology*. London: Methuen, 1985.
- [2] Diao Chengtai. Design and practice of the geomorphic research of Chongqing. *Advances in Earth Science*, 1993, 8 (2): 71-75. [刁承泰. 重庆城市地貌研究的设计与实践. *地球科学进展*, 1993, 8(2): 71-75.]
- [3] Zhang Wenkai. The formation of Fuzhou city and the development of artificial physiognomy. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 1996, 12(4): 111-117. [张文开. 福州城市人工地貌的形成和发展. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1996, 12(4): 111-117.]
- [4] Li Xueming, Zhou Lianyi, Wang Jian et al. Research on city artificial geomorphic evolution process and mechanism: Taking Dalian City as an example. *Geographical Research*, 2003, 22 (1): 13-19. [李雪铭, 周连义, 王建 等. 城市人工地貌演变过程及机制的研究: 以大连市为例. *地理研究*, 2003, 22(1): 13-19.]
- [5] Mu Guichun. Urban geomorphologic research conception of the mountain city of Chongqing. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 1990, 15(4): 463-467. [穆桂春. 山城重庆城市地貌研究构思. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1990, 15(4): 463-467.]
- [6] József Szabó, Lóránt Dávid, Dénes Lóczy. *Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-made Landforms*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2010.
- [7] Mu Guichun, Tan Shukui. A primary research on artificial geomorphology. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 1990, 15(4): 551- 557. [穆桂春, 谭术魁. 人工地貌学初探. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1990, 15(4): 551- 557.]
- [8] Nir D. Man, a geomorphological agent: An Introduction to Anthropic Geomorphology Isrel: Keter Publishing House, 1983. 1-10.
- [9] Gregory K J, Walling D E. *Man and Environmental Process*. London: Butterworths, 1981.
- [10] Jefferson A J, Wegmann K W, Chin A. Geomorphology of the anthropocene: Understanding the surficial legacy of past and present human activities. *Anthropocene*, 2013, 1(2): 1-3.
- [11] Hu Shixiong, Wang Ke. Development and thinking of modern geomorphology. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(8): 67-78. [胡世雄, 王珂. 现代地貌学的发展与思考. *地学前缘*, 2000, 7(8): 67-78.]
- [12] Li Jijun, Zhang Qingsong, Li Bingyuan. Progress of Chinese geomorphology for recent 15 years. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(S1): 641-649. [李吉均, 张青松, 李炳元. 近 15 年中国地貌学的进展. *地理学报*, 1994, 49(S1): 641-649.]
- [13] Zhang Daquan. A primary research of urban geomorphologic process. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 1990, 15(4): 619-625. [张大泉. 城市地貌过程初探. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1990, 15(4): 619-625.]

- [14] Yan Qinshang. Geomorphology. Beijing: Higher Education Press, 1985. [严钦尚. 地貌学. 北京: 高等教育出版社, 1985.]
- [15] Diao Chengtai, Huang Mingxing, Li Min et al. Brief introduction on human geomorphic Force. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2000, 25(4):462-466. [刁承泰, 黄明星, 李敏 等. 简论人类地貌营力. 西南师范大学学报(自然科学版), 2000, 25(4): 462-466.]
- [16] Shi Xingmin. Tourism Geomorphology. Tianjin: Nankai University Press, 2009. [史兴民. 旅游地貌学. 天津: 南开大学出版社, 2009.]
- [17] Yang Xiaoping. Modern geomorphic processes of human action. Journal of Ningbo University (Science and Technology Edition), 1998, 11(2): 100-104. [杨晓平. 现代地貌过程中的人类作用. 宁波大学学报(理工版), 1998, 11(2): 100-104.]
- [18] Hooke R L B. On the efficacy of humans as geomorphic agents. GSA Today, 1994, 4(9): 224-225.
- [19] Zhou Wenjing, Pan Chen, Lian Bin. Environmental pollution even weathered stone relics: Mechanisms, processes and protective measures. Earth and Environment, 2013, 41(4): 451-459. [周文静, 潘辰, 连宾. 环境污染加剧石质文物风化: 机理、过程及防护措施. 地球与环境, 2013, 41(4): 451-459.]
- [20] Chin A, Florsheim J L, Wohl E et al. Feedbacks in human-landscape systems. Environmental Management, 2014, 53(1): 28-41.
- [21] Yang Jingchun. Chinese Geomorphologic Features and Evolution. Beijing: China Ocean Press, 1983. [杨景春. 中国地貌特征与演化. 北京: 海洋出版社, 1983.]
- [22] Yang Jingchun, Li Youli. Theory of Geomorphology. Beijing: Peking University Press, 2001. [杨景春, 李有利. 地貌学原理. 北京: 北京大学出版社, 2001.]
- [23] Diao Chengtai. Urban Geomorphology. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 1999. [刁承泰. 城市地貌学. 重庆: 西南师范大学出版社, 1999.]
- [24] Li Lihua, Liu Shuzhen. Primary Research on the structure and function of urban geomorphic system. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 1990, 15(4): 607-613. [李立华, 刘淑珍. 城市地貌系统的结构和功能初探. 西南师范大学(自然科学版), 1990, 15(4): 607-613.]
- [25] Ma Aina. Introduction to Dynamic Geomorphology. Beijing: Higher Education Press, 2008. [马蔼乃. 动力地貌学概论. 北京: 高等教育出版社, 2008.]
- [26] Kuang Mingsheng. Shapingba district classification and mapping of urban landscapes. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 1990, 15(4): 498-505. [况明生. 沙坪坝地区城市地貌分类与制图. 西南师范大学学报(Natural Science Edition), 1990, 15(4): 498-505.]
- [27] Chen Xiaoling, Wu Huayi. Environmental Effects of Urban Artificial Landscapes along the Changjiang River. Beijing: Seismological Press, 1993. [陈晓玲, 吴华意. 沿江城市人工地貌的环境效应. 北京: 地震出版社, 1993.]
- [28] Zhang Yougang, Chen Guojian. Study on classification of landforms in Chongqing City: Use Beibei District as an example. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2000, 25(6): 713-717. [张友刚, 陈国建. 城市地貌分类研究: 以重庆北碚区为例. 西南师范大学学报(自然科学版), 2000, 25(6): 713-717.]
- [29] Pan Fengying, Sha Run, Li Jiusheng. General Geomorphology Beijing: Surveying and Mapping Press, 1989. [潘凤英, 沙润, 李久生. 普通地貌学. 北京: 测绘出版社, 1989.]
- [30] Zhou Lianyi, Jiang Nan, Zhao Mo et al. Analysis on the classification and initial influential factors of artificial landform of Dalian city. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2007, 38(2): 291-295. [周连义, 江南, 赵沫 等. 大连城市人工地貌分类及影响因素初步分析. 山东农业大学学报(自然科学版), 2007, 38(2): 291-295.]
- [31] Diao Chengtai. Explore the city of geomorphology. Advances in Earth Science, 1990, 5(6): 42-47. [刁承泰. 城市地貌学的探讨. 地球科学进展, 1990, 5(6): 42-47.]
- [32] Rózsa P. Attempts at qualitative and quantitative assessment of human impact on the landscape. Geogr Fiz Dinam Quat, 2007, 30(2): 233-238.
- [33] Mu Guichun, Tan Shukui. Urban geomorphology and plain city. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 1990, 15(4): 470-477. [穆桂春, 谭术魁. 城市地貌学与平原城市地貌研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 1990, 15(4): 470-477.]
- [34] Cooke R U, Brunsden D, Doornkamp J C. Urban Geomorphology in Drylands. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- [35] Douglas I. The Urban Environment. London, Victoria & Maryland: Edward Arnold, 1983.
- [36] Wang Guoxiang, Pu Peimin. Ecological view of human evolution civilization. Journal of Ecology, 2000, 19(4): 57-60.

- [王国祥, 濮培民. 人类文明演化的生态观. 生态学杂志, 2000, 19(4): 57-60.]
- [37] Huang Qiaohua, Zhu Dakui. Research on Chinese urban landforms. *Geography and Territory Research*, 1996, 12(1): 55-58. [黄巧华, 朱大奎. 中国城市地貌研究. 地理学与国土研究, 1996, 12(1): 55-58.]
- [38] Mu Guichun, Gao Jianzhou. Theory and practice of urban geomorphology. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 1990, 15(4): 293-298. [穆桂春, 高建州. 城市地貌学的理论与实践. 西南师范大学学报(自然科学版), 1990, 15(4): 593-598.]
- [39] Liu Jinghua. Research on city man-made landscape horizontal space expansion: Taking Dalian City as an example [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2004. [刘敬华. 城市人工地貌水平空间扩张研究: 以大连市为例[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2004.]
- [40] Li Xueming. Research of urban artificial landscapes: Use Dalian city as an example [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2004. [李雪铭. 城市人工地貌研究: 以大连市为例[D]. 南京: 南京师范大学, 2004.]
- [41] Chang Jing. Study on vertical development mode of artificial physiognomy in city centre: Use Dalian City as an example [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2004. [常静. 城市中心区人工地貌垂直发育模式研究: 以大连市为例[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2004.]
- [42] Zhao Jing. Wuhan landform resources changes and the relationship of city urbanization. *Study Monthly*, 2007, 302(11): 47-48. [赵静. 武汉地貌资源变迁与城市化进程之关系. 学习月刊, 2007, 302(11): 47-48.]
- [43] Li Yanbao, Jiang Xuelian. Introduction to Port Waterway Engineering. Beijing: China Communications Press, 2010. [李炎保, 蒋学炼. 港口航道工程导论. 北京: 人民交通出版社, 2010.]
- [44] Chen Jiyu. China Sea Reclamation Works. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2000: 34-109. [陈吉余. 中国围海工程. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 34-109.]
- [45] Dong Jianhong. History of Chinese Urban Construction. 3rd ed. Beijing: China Building Industry Press, 2004. [董鉴泓. 中国城市建设史. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.]
- [46] Hooke R L B. On the history of humans as geomorphic agents. *Geology*, 2000, 28(9): 843-846.
- [47] Li Feixue, Li Manchun, Liu Yongxue et al. Study on the expansion of Nanjing city since the founding of new China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 524-535. [李飞雪, 李满春, 刘永学等. 建国以来南京城市扩展研究. 自然资源学报, 2007, 22(4): 524-535.]
- [48] Zhou Yixing. Urban Geography. Beijing: Commercial Printing Museum, 1995. [周一星. 城市地理学. 北京: 商务印书馆, 1995.]
- [49] Zhou Lianyi, Jiang Nan, Zhao Mo et al. Analysis on the relationship between urban man-made landscape evolution and economic driving factors. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2006, 30(4): 132-134. [周连义, 江南, 赵沫等. 城市人工地貌演变与经济驱动因素关系分析. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(4): 132-134.]
- [50] Li Xueming, Zhang Chunhua, Zhou Lianyi et al. Urban man geomorphological processes in response to urbanization - A case of Dalian. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 785-793. [李雪铭, 张春花, 周连义等. 城市人工地貌过程对城市化的响应: 以大连市为例. 地理研究, 2005, 24(5): 785-793.]
- [51] Zhang Yuping Li Xueming. Analysis on the response of the man-made landform for population changes in Dalian City. *Areal Research and Development*, 2007, 26(1): 20-24. [张玉萍, 李雪铭. 大连市人工地貌对人口变化的响应分析. 地域研究与开发, 2007, 26(1): 20-24.]
- [52] Verstappn H T, Diao Chengtai. Geomorphology and urbanization. *Progress in Geography*, 1989, 8(4): 8-12. [Verstappn H T, 刁承泰. 地貌学与城市化. 地理科学进展, 1989, 8(4): 8-12.]
- [53] Li Xueming, Zhou Lianyi, Wang Jian. Preliminary study on preparation of city artificial landform map: Taking Dalian City as an example. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(3): 50-56. [李雪铭, 周连义, 王建. 城市人工地貌图编制的初步研究: 以大连市为例. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 50-56.]
- [54] Sha Run, Li Jiusheng. The design idea and method of preparation of city landform map. *Scientia Geographica Sinica*, 1988, 8(2): 165-172. [沙润, 李久生. 城市地貌图的设计思想和编制方法初探. 地理科学, 1988, 8(2): 165-172.]
- [55] Li Xueming, Yang Jun, Zhou Lianyi et al. Research of urban man-made landscape map making based on GIS. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2005, 30(4): 37-39. [李雪铭, 杨俊, 周连义等. 基于GIS的城市人工地貌图制作研究. 测绘信息与工程, 2005, 30(4): 37-39.]
- [56] Diao Chengtai. Design and compilation of Chongqing urban landform map. *Scientia Geographica Sinica*, 1993, 48(6): 544-551. [刁承泰. 重庆城市地貌图的设计与编制. 地理学报, 1993, 48(6): 544-551.]

- [57] Zhang Yougang, Chen Guojian. Mapping of city digital landform: Taking Beibei District of Chongqing city as an example. *Map*, 2000, 15(3): 11-14. [张友刚, 陈国建. 城市地貌数字制图研究: 以重庆市北碚区为例. *地图*, 2000, 15(3): 11-14.]
- [58] Chen Xiaoling. Formulation thought to Wuhan urban geomorphological map. *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, 1992, 14(3): 290-293. [陈晓玲. 武汉市城市地貌图的编制思想. *湖北大学学报(自然科学版)*, 1992, 14(3): 290-293.]
- [59] Yin Zesheng. The weak link in China modern geomorphological mapping research. *Geographical Research*, 1988, 7(4): 1-11. [尹泽生. 中国现代地貌制图研究的薄弱环节. *地理研究*, 1988, 7(4): 1-11.]
- [60] Diao Chengtai, Cao Kanglin. Fragility of urban geomorphological environment. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 1996, 21(2): 173-178. [刁承泰, 曹康琳. 城市地貌环境的脆弱性研究. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1996, 21(2): 173-178.]
- [61] Ellis E C, Ramankutty N. Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2008, 6(8): 439-447.
- [62] Bain D J, Green M B, Campbell J L et al. Legacy effects in material flux: Structural catchment changes predate long-term studies. *Bioscience*, 2012, 62(6): 575-584.
- [63] Thomas W L. *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. Chicago: University of Chicago Press, 1956: 10-13.
- [64] Hooke R L B, Martin-Duque J F, Pedraza J. Land transformation by humans: A review. *GSA Today*, 2012, 22(12): 4-10.
- [65] Wohl E. Wilderness is dead: Whither critical zone studies and geomorphology in the Anthropocene? *Anthropocene*, 2013, 1(2): 4-15.
- [66] James L A. Legacy sediment: Definitions and processes of episodically produced anthropogenic sediment. *Anthropocene*, 2013, 1(2): 16-26.
- [67] Zhang Wenkai. Analysis of the relationship between Fuzhou city and city climate geomorphology. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science)*, 1998, 14(4): 96-102. [张文开. 福州城市地貌与城市气候关系分析. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 14(4): 96-102.]
- [68] Mann K C, Peck J A, Peck M C. Assessing dam pool sediment for understanding past, present and future watershed dynamics: An example from the Cuyahoga River, Ohio. *Anthropocene*, 2013, 1(2): 76-88.
- [69] Mattheus C R, Norton M S. Comparison of pond-sedimentation data with a GIS-based USLE model of sediment yield for a small forested urban watershed. *Anthropocene*, 2013, 1(2): 89-101.
- [70] Yang Shilun. *Introduction to the Coastal Environment and Geomorphological Process*. Beijing: China Ocean Press, 2003. [杨世伦. *海岸环境和地貌过程导论*. 北京: 海洋出版社, 2003.]
- [71] Ma Long, Yu Hongjun, Wang Shukun et al. The factors of human activities in the coastal zone environment change. *Coastal Engineering*, 2006, 25(4): 29-34. [马龙, 于洪军, 王树昆 等. 海岸带环境变化中的人类活动因素. *海岸工程*, 2006, 25(4): 29-34.]
- [72] Sun Yunhua, Zhang Anding, Wang Qing et al. Influence of human activities in recent 30 years on the landform process and seawater intrusion on the south bank of the Laizhou Bay. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2011, 31(5): 43-50. [孙云华, 张安定, 王庆 等. 最近30年来人类活动对莱州湾南岸地貌过程及海水入侵的影响. *海洋地质与第四纪地质*, 2011, 31(5): 43-50.]
- [73] Wang Aijun, Wang Yaping, Yang Yang. Jiangsu Wanggang intertidal flat surface sediment characteristics and transport tendency. *Journal of Sediment Research*, 2004, 22(1): 124-129. [王爱军, 汪亚平, 杨旸. 江苏王港潮间带表层沉积物特征及输运趋势. *沉积学报*, 2004, 22(1): 124-129.]
- [74] El Banna M M, Frihy O E. Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. *Geomorphology*, 2009, 107(1): 72-78.
- [75] Cong Ning, Zhang Zhenke, Xia Fei. Study on the Yangtze River Estuary coastal geomorphological changes and disaster trend under the impact of human activities and global warming. *Henan Science*, 2010, 28(5): 605-611. [丛宁, 张振克, 夏非. 人类活动与全球变暖影响下长江口海岸地貌动态与灾害趋势研究. *河南科学*, 2010, 28(5): 605-611.]
- [76] Chin A, Galvin K A, Gerlak A K et al. The Future of human-landscape interactions: Drawing on the Past, Anticipating the Future. *Environmental Management*, 2014, 53(1): 1-3.
- [77] Kondolf G M, Podolak K. Space and time scales in human-landscape systems. *Environmental Management*, 2014, 53(1): 76-87.

Progress in anthropogenic geomorphology

LI Jialin^{1,2}, YANG Lei¹, YANG Xiaoping¹

(1. Department of Scientific Research of the urban, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China;

2. Ocean Culture and Economic Research Center, Zhejiang Province, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

Abstract: With the improving capabilities of human beings in remaking the nature, human activity has become the third morphotectonic force during the modern geomorphological process. The effect of human activities on original geomorphological features of earth surface is extremely obvious, in some aspects, the energy level of its remarking forces in earth environment even surpasses that of natural forces. Accordingly various man-made landforms generate from different natural geomorphological structures. Man-made landform is a humanistic-featured landform shaped by the coordinated morphotectonic forces from human and nature within a certain natural geographical background. This paper first summarizes main research progress of man-made geomorphology from the following aspects, namely, the origin of anthropogenic geomorphology, man-made landform agents and geomorphology categorization, the evolution of man-made landforms and its influencing mechanism, map presentation of man-made landforms and the effects of man-made landforms on the environment. After that, this paper pointed out that man-made geomorphology has attracted much attention from researchers, however, many problems on the object, content, methodology and theoretical system in current studies need to be solved. The study of man-made geomorphology should refer to research achievements in relevant subjects and modern geo-information techniques, so as to raise our cognitive levels and examine the vitality, characteristics and scientific meanings of this discipline. Finally, this study forecasted the progress of man-made geomorphology, and argued that future study in anthropogenic geomorphology should strengthen the construction in the disciplinary system of anthropogenic geomorphology, constituent materials and morphologic characteristics, spatial expansion process and the evolution laws, regional variations and accumulative environment effects from man-made landform, environment management and international comparative study of man-made landforms, which will promote the development of anthropogenic geomorphology and the process of man-made landforms in modern social and economic constructions.

Keywords: anthropogenic geomorphology; the third morphotectonic force; man-made landform evolution; urban anthropogenic geomorphology; man-made landform management