

象山港海岸带人工建设地貌发育机制研究

杨磊^{1,2}, 李加林^{1*}, 黄日鹏¹

(1. 宁波大学 东海研究院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波中学, 浙江 宁波 315100)

摘要: 以 1990 年、2000 年、2010 年及 2014 年 4 个时期 TM/OLI 遥感影像和相关专题图为基础数据, 借助 RS/GIS 技术、SPSS 与 Origin 软件对数据进行空间分析与数理统计, 从人工建设地貌的发育阶段界定、相关性分析及其响应分析 3 个方面探讨人工建设地貌的发育机制, 得到以下结论: (1)象山港海岸带人工建设地貌的发育可分为 1990~2000 年、2001~2010 年和 2011~2014 年 3 个发展阶段; (2)面积与城市化综合指数的相关性最大, 高程与人口综合指数的相关性最大; (3)城市化综合指数、人口综合指数、GDP 综合指数是影响人工建设地貌发育水平的重要因子, 对人工建设地貌的形成、演化、发育规律具有显著的推动或抑制作用。

关键词: 人工建设地貌; 地貌发育机制; 影响因子; 象山港海岸带

中图分类号: K903

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 05-0115-06

人类活动直接或间接作用于地球表面而形成各式各样的人工地貌^[1-3]。机器的出现与技术手段的革新使得人类改造地貌的能力大幅增强, 在城市等区域人类对地貌的影响甚至远超自然营力, 故有学者称人类改造活动为第三造地貌营力^[4-6]。研究人工地貌对区域可持续发展、营造和谐的人地关系有着重要的意义。在我国人工地貌研究过程中, 大多数学者选择城市作为研究区域^[7-9], 研究的内容以人工地貌分类^[10-11]、人工地貌变迁^[12-14]、人工地貌演化的影响机制^[15-17]、人工地貌的地图表达^[18-19]、人工地貌的环境影响^[20-21]为主, 并取得了丰硕成果^[22]。同时, 人工地貌学也在向新的研究领域拓展。随着海岸带资源开发和海洋经济的发展, 势必要加强对海岸带区域人工建设地貌的研究^[23]。

本文以象山港为例, 研究海岸带人工建设地貌发育过程及其内在机制, 尝试摸索一条合理开发利用海岸带资源、维护港湾地区的生态安全之路。

1 研究区概况

象山港地处浙江省北部沿海地带, 形似峡道,

呈东北—西南走向, 是仅次于杭州湾、三门湾之外的浙江省第三大内湾(图 1)。象山港三面环山, 一面临海, 南、北、西部均有低山丘陵环抱, 东侧临近舟山海域处岛屿密布, 形成将象山港与舟山海域隔离的天然屏障, 仅通过狭长的水道相沟通。近海附近分布有零星的海积、冲积平原, 但沿岸平原狭小, 地形结构呈现出明显的周高中低特征。象山港地处海陆结合部, 兼具对内的封闭性与对外的开敞性特征, 形成独特的地理区位条件。分布于港区范围内的各种人类活动, 促使港湾区域发展成现

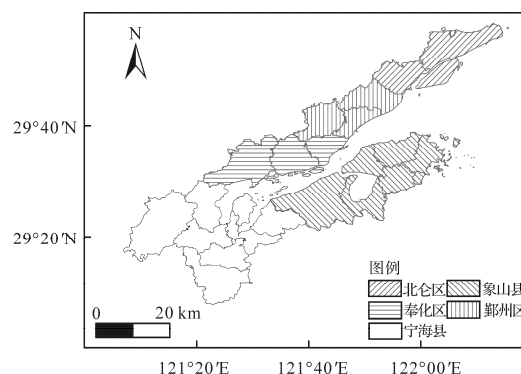


图 1 象山港区位概况

收稿日期: 2017-06-10.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(41471004, U1609203); 宁波市重大科技计划项目(2015C110001); 宁波市自然科学基金(2017A610300); 宁波大学研究生科研创新基金(G15059)。

第一作者: 杨磊(1993—), 男, 安徽霍邱县人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 海岸带资源开发。E-mail: ylnbu2013@sina.com

*通信作者: 李加林(1973—), 男, 浙江台州人, 博士/教授, 主要研究方向: 海岸带环境与资源开发。E-mail: nbnj2001@163.com

代海洋开发的前沿基地与海洋经济示范区的重要组成部分。随着海陆交通的发展,象山港对外联系日趋紧密,成为沟通浙北、浙中南的重要水域。象山港海岸带分属北仑区、鄞州区、奉化区、宁海县和象山县。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

本研究以 1990 年、2000 年、2010 年及 2014 年 4 个时期 TM/OLI 遥感影像作为主要数据来源,分辨率为 30 m,轨道号 118-39 和 118-40。所用影像均来自于美国地质调查局(USGS)网站(<http://glovis.usgs.gov/>),在解译过程中参考了谷歌地图和 91 位图助手的历史影像资料。其他资料包括:象山港港湾志、浙江省与象山港流域沿岸乡镇的相关专题图、浙江省和宁波市有关统计部门提供的统计数据。通过对象山港海岸带人工建设地貌的实地考察,选取宁海县的跃龙街道、桃源街道、梅林街道、桥头胡街道作为重点研究区域,并利用 GPS 进行建设地貌标高的测量,验证象山港区域的建设地貌高度数据的精度。

利用 Envi 5.2 对遥感影像数据进行预处理,包括几何校正与配准、假彩色合成、图像拼接等。同时,降低遥感影像的空间对比度、亮度等方面的差异,以减小遥感影像在解译过程中造成的误差,提高遥感影像的质量,从而获取更准确的基础数据,保证研究数据的真实性和可靠性。借助 ArcGIS 10.2 软件平台,参考浙江省行政区划图、浙江省乡镇边界图绘制象山港区位图,并结合统计年鉴数据、野外调查数据等进行相关性分析。

2.2 人工建设地貌发育分析方法

人工建设地貌在景观特征上的显著表现是水平方向上的延展、垂直方向的增长,即人工建设地貌的覆被面积日趋扩大、垂直高度逐年增加。故此,选用人工建设地貌在地表的覆被面积表征其在水平方向上的发育情况;选用人工建设地貌在垂直方向的高度表征其在垂直方向上的发育水平。以人工建设地貌在地表的正投影所覆被的表面积作为其覆被面积指标。人工建设地貌的高度数据来源于宁波市房产局的统计数据,并进行实地调查测量验证。具体验证过程为:在每个乡镇均匀地选

择若干地点,测量其 2014 年人工建设地貌高度数据,并将各地人工建设地貌高度加权平均,求得象山港海岸带人工建设地貌的平均高度,将计算结果与宁波市房产局统计数据进行对比,误差低于 5%,精度能满足研究需要。

3 结果分析

选取象山港海岸带地区的 5 个县(市)区作为主要研究区域,综合考虑研究需要,重点选取沿港周边的 23 个乡镇街道,包括北仑区的梅山街道、白峰镇、春晓街道;鄞州区的瞻岐镇、咸祥镇、塘溪镇;奉化区的莼湖镇、裘村镇、松岙镇;宁海县的梅林街道、桥头胡街道、跃龙街道、桃源街道、强蛟镇、西店镇、深甽镇、大佳何镇;象山县的西周镇、墙头镇、大徐镇、黄避岙乡、贤庠镇、涂茨镇。依据对各个乡镇的实地调研结果,并参考宁波市及相关县(市)区的统计公报、年鉴数据,获取 1990~2014 年各乡镇的国民生产总值、人均生产总值、三大产业产值、总人口、农业人口、非农人口等数据。借助 SPSS 19.0 软件,利用主成分分析法对各主成分得分进行对数标准化处理,得到 1990~2014 年期间的城市化综合指数、人口综合指数、GDP 综合指数、人工建设地貌指数,详见表 1。

表 1 人工建设地貌面积、高程及相关指数

时间	高程/ m	面积/ km ²	城市化 综合指数	人口综 合指数	GDP 综 合指数	人工建设 地貌指数
1990 年	10.01	60.24	7.15	3.52	6.86	3.91
1991 年	10.30	67.97	7.35	3.54	7.08	4.01
1992 年	10.76	73.96	7.55	3.56	7.30	4.09
1993 年	11.24	79.95	7.88	3.62	7.65	4.17
1994 年	11.74	85.94	8.20	3.63	7.99	4.24
1995 年	12.26	91.92	8.43	3.67	8.23	4.30
1996 年	12.80	97.91	8.61	3.73	8.41	4.36
1997 年	13.37	103.89	8.68	3.77	8.49	4.42
1998 年	13.97	109.88	8.79	3.85	8.60	4.47
1999 年	14.59	115.87	8.87	3.89	8.68	4.52
2000 年	15.33	128.94	8.99	3.94	8.80	4.63
2001 年	15.91	127.84	9.09	4.05	8.90	4.62
2002 年	16.62	133.83	9.34	4.18	9.15	4.67
2003 年	17.36	139.82	9.53	4.21	9.35	4.71
2004 年	18.13	145.81	9.69	4.26	9.51	4.75

续表

时间	高程/ m	面积/ km ²	城市化 综合指数	人口综 合指数	GDP 综 合指数	人工建设 地貌指数
2005 年	18.94	151.79	9.89	4.30	9.71	4.79
2006 年	19.78	157.78	10.06	4.35	9.88	4.83
2007 年	20.66	163.77	10.24	4.38	10.06	4.87
2008 年	21.58	169.75	10.38	4.41	10.20	4.91
2009 年	22.54	175.74	10.44	4.44	10.26	4.94
2010 年	23.27	169.23	10.59	4.47	10.42	4.91
2011 年	24.59	187.72	10.74	4.50	10.57	5.01
2012 年	25.68	193.71	10.81	4.56	10.64	5.04
2013 年	26.82	199.65	10.95	4.59	10.78	5.08
2014 年	28.02	205.68	11.02	4.61	10.85	5.11

3.1 人工建设地貌发育阶段界定

通过解译遥感影像数据,获取人工建设地貌的面积与高程.基于面积和高程数据对人工建设地貌发育进行分析,发现人工建设地貌的面积与高程发育有显著的阶段性特征.在1990~2014年25年间,存在2个特殊的节点:2000年和2010年,这两个年份的人工建设地貌的面积和高程演化特征与发育趋势略有不同,一个数值骤升,一个数值骤降.故而,以此为人工建设地貌发育的重要拐点,将象山港海岸带人工建设地貌分为3个重要阶段:第1阶段是1990~2000年,第2阶段是2001~2010年,第3阶段是2011~2014年.

通过SPSS 19.0软件计算得到1990~2014年期间的人口综合指数、城市化综合指数、GDP综合指数及人工建设地貌指数.基于以上数据,利用回归分析中的曲线估计方法,绘制人口、城市化、GDP综合指数的增长曲线模型,如图2所示.由图2可知,人工建设地貌发育的潜在影响因子的演变趋势也具有典型的阶段性特征,且其数据的重要转折年也是2000年和2010年.说明基于潜在影响因子的人工建设地貌发育也明显存在3个阶段,同样为1990~2000年、2001~2010年和2011~2014年.

综合象山港海岸带人工建设地貌的面积和高程数据及其潜在影响因子的演变趋势,明确其人工建设地貌的发育阶段主要为1990~2000年、2001~2010年和2011~2014年.从定量的角度表明了象山港海岸带人工建设地貌的阶段性特征.

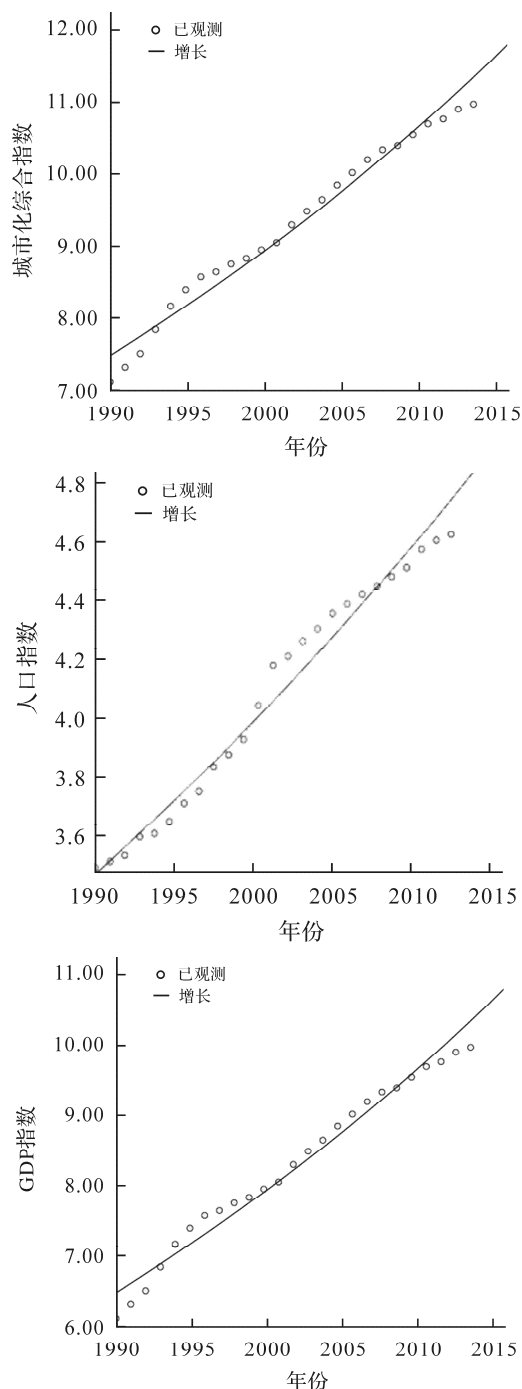


图2 人口、城市化及GDP综合指数增长曲线

3.2 人工建设地貌面积和高程与其潜在影响因子的相关性分析

随着社会经济的发展,人工建设地貌的发育水平也相应地产生变化.借助SPSS 19.0软件,对人工建设地貌的面积和高程信息与社会经济数据进行相关性分析,得到人工建设地貌面积和高程与其潜在影响因子的相关系数(表2).

表 2 人工建设地貌的面积和高程与其潜在影响因子的相关系数

影响因子	A	B	C	D	E
A	1				
B	0.987**	1			
C	0.991**	0.972**	1		
D	0.988**	0.973**	0.984**	1	
E	0.990**	0.970**	1.000**	0.983**	1

注: A 为面积; B 为高程; C 为城市化综合指数; D 为人口综合指数; E 为 GDP 综合指数. **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关.

由表2可以看出,人工建设地貌的面积和高程与社会经济发展水平具有高度的相关性.人工建设地貌的面积与城市化综合指数、人口综合指数、GDP综合指数的相关系数分别为0.991、0.988、0.990,且均通过了1%的显著性检验;人工建设地貌的高程与城市化综合指数、人口综合指数、GDP综合指数的相关系数分别为0.972、0.973、0.970,也都通过了1%的显著性检验.面积与城市化综合指数的相关性最大,高程与人口综合指数的相关性最大.表明城市化综合指数、人口综合指数、GDP综合指数这3个潜在影响因子对人工建设地貌的发育起着重要的作用,三者协同作用,共同影响了人工建设地貌的发育程度.这种影响在时间序列上的表现尤为明显,在人工建设地貌形成中占有主导地位,控制了人工建设地貌在水平与垂直方向上的演化趋势,直接影响其发育的规律.

3.3 人工建设地貌面积和高程发育对潜在影响因子的响应分析

3.3.1 面积和高程对城市化综合指数的响应

运用 SPSS 19.0 软件分别对人工建设地貌面积和高程与城市化综合指数进行拟合分析,得到两两之间的最优响应方程,即城市生长曲线模型.通过反复对比发现:1990~2014 年人工建设地貌的面积和高程演化趋势同增长曲线模型的关系较吻合.故此,得出 1990~2014 年人工建设地貌面积与城市化综合指数的响应方程为 $Y=e^{(2.024+0.302x)}$,其响应系数为 0.032,方程效果检验 F 值为 1 235.797,且通过了 1%的显著性检验, R^2 为 0.982,说明模型对面积的拟合效果很好;1990~2014 年人工建设地貌高程与城市化综合指数的响应方程为 $Y=e^{(-0.650+0.364x)}$,其响应系数为 0.364,方程效果检验 F 值为 1 836.868,且通过了 1%的显著性检验, R^2 为 0.988,说明模型

对高程的拟合效果很好.此外,各阶段响应方程与整体的增长曲线方程的 R^2 差异较小,表明各阶段人工建设地貌的发育特征与整体发育特征大体相符;但方程效果检验 F 值差异较大,是由于分阶段研究使得样本量大小有别所致.分阶段的人工建设地貌面积和高程对城市化综合指数的响应方程见表 3 和表 4.

表 3 人工建设地貌面积对城市化综合指数的响应方程及其检验

时段	增长曲线方程	响应系数	R^2	F 检验
1990~2000 年	$Y=e^{(1.564+0.357x)}$	0.357	0.967	260.039
2001~2010 年	$Y=e^{(2.913+0.213x)}$	0.213	0.975	313.061
2011~2014 年	$Y=e^{(1.971+0.304x)}$	0.304	0.979	93.927
1990~2014 年	$Y=e^{(2.024+0.302x)}$	0.302	0.982	1 235.797

表 4 人工建设地貌高程对城市化综合指数的响应方程及其检验

时段	增长曲线方程	响应系数	R^2	F 检验
1990~2000 年	$Y=e^{(-0.597+0.355x)}$	0.355	0.963	236.769
2001~2010 年	$Y=e^{(0.054+0.296x)}$	0.296	0.991	926.566
2011~2014 年	$Y=e^{(-1.390+0.428x)}$	0.428	0.981	104.250
1990~2014 年	$Y=e^{(-0.650+0.364x)}$	0.364	0.988	1 836.868

综上所述可知,在时间序列上城市化水平的逐步提高,对人工建设地貌的面积和高程产生的作用显著,说明城市化水平是衡量人工建设地貌发育程度的重要指标.

3.3.2 面积和高程对人口综合指数的响应

人工建设地貌面积和高程与人口综合指数之间相关系数分别为 0.988、0.973,可见人工建设地貌的面积和高程与人口综合指数的相关度均较高.1990~2014 年期间,人工建设地貌的面积和高程与本地区的人口总数都处于不断增长的状态,两两之间依然存在一定的相关性.运用 SPSS 19.0 软件可得,1990~2014 年人工建设地貌面积对人口综合指数的响应方程为 $Y=e^{(1.046+0.929x)}$,其响应系数为 0.929,方程效果检验 F 值为 511.349,且通过了 1%的显著性检验, R^2 为 0.957,表明该模型对面积的拟合效果较好;1990~2014 年人工建设地貌高程对人口综合指数的响应方程为 $Y=e^{(-1.875+1.132x)}$,其响应系数为 1.132,方程效果检验 F 值为 1 221.164,且通过了 1%的显著性检验, R^2 为 0.982,表明该模型对高程的拟合效果也较好.分阶段的人工建设地貌面

积和高程对人口综合指数的响应方程见表 5 和表 6.

表 5 人工建设地貌面积对人口综合指数的
响应方程及其检验

时段	增长曲线方程	响应系数	R^2	F 检验
1990~2000 年	$Y=e^{(-1.329+1.575x)}$	1.575	0.945	155.080
2001~2010 年	$Y=e^{(1.547+0.809x)}$	0.809	0.958	183.206
2011~2014 年	$Y=e^{(1.646+0.796x)}$	0.796	0.945	34.317
1990~2014 年	$Y=e^{(1.046+0.929x)}$	0.929	0.957	511.349

表 6 人工建设地貌高程对人口综合指数的
响应方程及其检验

时段	增长曲线方程	响应系数	R^2	F 检验
1990~2000 年	$Y=e^{(-3.4848+1.569x)}$	1.569	0.945	155.858
2001~2010 年	$Y=e^{(-1.819+1.118x)}$	1.118	0.963	209.933
2011~2014 年	$Y=e^{(-1.807+1.112x)}$	1.112	0.931	27.186
1990~2014 年	$Y=e^{(-1.875+1.132x)}$	1.132	0.982	1 221.164

综合分析可知,在时间序列上人口的变化引起了人工建设地貌发育程度的变化,人口数量的增加,一定程度上提高了人工建设地貌的发育水平,说明人口数量的变化是衡量人工建设地貌发育程度的重要指标.

3.3.3 面积和高程对 GDP 综合指数的响应

1990~2014 年期间,人工建设地貌的面积和高程与本地区的 GDP 都处于增长态势,且相互之间保持相对的稳定性,大体处于协同发展.运用 SPSS 19.0 软件可得,1990~2014 年人工建设地貌面积对 GDP 综合指数的响应方程为 $Y=e^{(2.145+0.295x)}$,其响应系数为 0.295,方程效果检验 F 值为 1 355.870,且通过了 1% 的显著性检验, R^2 为 0.983,表明该模型对面积的拟合效果较好;同期人工建设地貌高程对 GDP 综合指数的响应方程为 $Y=e^{(-0.502+0.355x)}$,其响应系数为 0.355,方程效果检验 F 值为 1 826.535,且通过了 1% 的显著性检验, R^2 为 0.988,表明该模型对高程的拟合效果也较好.此外,分阶段的人工建设地貌面积和高程对 GDP 综合指数的响应方程见表 7 和表 8.

表 7 人工建设地貌面积对 GDP 综合指数的
响应方程及其检验

时段	增长曲线方程	响应系数	R^2	F 检验
1990~2000 年	$Y=e^{(1.792+0.338x)}$	0.338	0.964	244.387
2001~2010 年	$Y=e^{(2.972+0.211x)}$	0.211	0.974	297.100
2011~2014 年	$Y=e^{(2.023+0.304x)}$	0.304	0.979	93.927
1990~2014 年	$Y=e^{(2.145+0.295x)}$	0.295	0.983	1 355.870

表 8 人工建设地貌高程对 GDP 综合指数的
响应方程及其检验

时段	增长曲线方程	响应系数	R^2	F 检验
1990~2000 年	$Y=e^{(-0.370+0.336x)}$	0.336	0.961	221.554
2001~2010 年	$Y=e^{(0.134+0.294x)}$	0.294	0.991	925.255
2011~2014 年	$Y=e^{(-1.318+0.428x)}$	0.428	0.981	104.250
1990~2014 年	$Y=e^{(-0.502+0.355x)}$	0.355	0.988	1 826.535

综合分析可知,在时间序列上 GDP 产值的变化引起了人工建设地貌发育程度的变化, GDP 产值增加,促进了人工建设地貌的发育,说明 GDP 产值的变化是衡量人工建设地貌发育程度的重要指标.

4 结论

(1)受人工建设地貌潜在影响因子的演变趋势影响,象山港面积和高程数据与人工建设地貌的发育具有显著的阶段性特征.在此研究基础上,认为象山港海岸带人工建设地貌的发育可以分为 3 个发展阶段,分别为 1990~2000 年、2001~2010 年和 2011~2015 年.

(2)人工建设地貌的面积和高程与社会经济发展水平具有高度的相关性.3 个潜在的影响因子(城市化综合指数、人口综合指数、GDP 综合指数)对人工建设地貌的发育起着重要作用,三者协同共同影响了人工建设地貌的发育程度.但其中面积与城市化综合指数的相关性最大,高程与人口综合指数的相关性最大.

(3)城市化综合指数、人口综合指数、GDP 综合指数不仅是影响人工建设地貌发育水平的重要因子,也是衡量人工建设地貌发育水平的重要指标,对人工建设地貌的形成、演化、发育规律等方面具有显著的推动或抑制作用.

参考文献:

[1] 杨景春. 中国地貌特征与演化[M]. 北京: 海洋出版社, 1993:1-6.

[2] 杨景春, 李有利. 地貌学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005:1-2.

[3] 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[J]. 地理研究, 2003, 22(1):13-20.

[4] 穆桂春, 谭术魁. 人工地貌学初探[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1990, 15(4):551-557.

[5] 杨晓平. 现代地貌过程中的人类作用[J]. 宁波大学学报(理工版), 1998, 11(2):100-104.

- [6] 张大泉. 城市地貌过程初探[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1990, 15(4):619-625.
- [7] 张文开. 福州城市人工地貌的形成和发展[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1996, 12(4):111-117.
- [8] 周连义. 大连城市人工地貌研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2004.
- [9] 韦善豪. 钦州市城市地貌环境质量评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [10] D.R.柯茨, 刁承泰. 城市地貌学[J]. 地理科学进展, 1988, 7(2):24-26.
- [11] 马谔乃. 动力地貌学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008:66-69.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(4):132-134.
- [16] 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[J]. 地理研究, 2005, 24(5):785-793.
- [17] 张玉萍, 李雪铭. 大连市人工地貌对人口变化的响应分析[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(1):20-24.
- [18] 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[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3):50-56.
- [19] 李雪铭, 杨俊, 周连义, 等. 基于 GIS 的城市人工地貌图制作研究[J]. 测绘地理信息, 2005, 30(4):37-39.
- [20] 张文开. 福州城市地貌与城市气候关系分析[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1998, 14(4):96-102.
- [21] 刁承泰, 曹康琳, 张友刚. 城市地貌环境的脆弱性研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1996, 21(2):173-178.
- [22] 李加林, 杨磊, 杨晓平. 人工地貌学研究进展[J]. 地理学报, 2015, 70(3):447-460.
- [23] 李加林, 刘永超. 人工地貌学学科体系框架构建初探[J]. 地理研究, 2016, 35(12):2203-2215.

Study on development mechanism of artificial construction landform in Xiangshan harbor coastal zone

YANG Lei^{1,2}, LI Jia-lin^{1*}, HUANG Ri-peng¹

(1.Donghai Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2.Ningbo Middle School, Ningbo 315100, China)

Abstract: Coastal zone is the most extensive area of contemporary artificially developed landforms. It is of great significance to study the sustainable development of coastal zone by strengthening the study of artificial landform in coastal zone. Based on the TM/OLI remote sensing images and related thematic maps in 1990, 2000, 2014 and 2014, RS/GIS technology, SPSS and Origin was used to carry out spatial analysis and mathematical statistics in the current study. The study was aimed to determine the development mechanism of artificial landforms from three aspects: the definition of development stage, correlation analysis and response analysis of artificial landform. The main conclusions include: (1) The development of artificial landscape of Xiangshan Port coast can be divided into three stages of development from 1990 to 2000, 2001 to 2010 and 2011 to 2014; (2) The correlation between the area and the urbanization index is the largest, and the correlation between the elevation and the population comprehensive index is the largest; (3) Urbanization composite index, population composite index and GDP composite index are important factors affecting the development level of the construction of artificial landscape and also important indicators to measure the development level of the construction of the artificial landscape. The changes of these factors can effectively promote or inhibit the formation of artificial construction, the geomorphic evolution and developmental law etc.

Key words: artificial construction landforms; landform development mechanism; influencing factors; Xiangshan harbor coastal zone

(责任编辑 史小丽)