

文章编号: 1007-7588(2008)09-1356-06

深圳市东部海岸地质遗迹景观的环境敏感性分析

刘珍环^{1,2}, 吴健生^{1,2}, 王仰麟^{1,2}, 曾祥坤^{1,2}, 谢苗苗^{1,2}

(1. 北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055;

2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:地质遗迹景观资源的分布特征及环境敏感性分析是地质遗迹保护规划及开发利用的基础。通过野外调查及分析得出深圳东部海岸带的主体地质景观类型为地质地貌景观共 47 个占总体景点数量的 72.3%, 其中主要的地质遗迹类型为火山地貌遗迹和海岸地貌遗迹, 分别为 7 个和 27 个占总量的 10.8% 和 41.6%。东部海岸地带面积约 437km², 以国家级、省级地质遗迹景点为主, 数量及比例分别为 22.44% 和 21.42%。以高程、坡度、植被、土地利用、道路距离、景观等级及景观类型等因子聚类, 得到 3 种影响类型: 未受影响景点类型、轻度影响景点类型、威胁严重景点类型。据此确定了 9 个要重点采取保护措施的景点以及 26 个在开发利用过程中需要采取保护措施的景点。最后从景点的环境敏感性角度, 对开发利用与保护的协调统一提出了景点保护模式, 为地质遗迹资源的保护及开发利用提供合理建议。

关键词:地质遗迹景点; 分布特征; 环境敏感性; 深圳市东部海岸

1 引言

地质遗迹是指不可再生的地质自然遗产, 具有极为重要的科学价值及美学价值^[1]。地质遗迹及其所构成的地质环境, 对地球上生物的分布及人类社会和文明有深刻的影响^[2]。地质遗迹资源作为一种重要的旅游资源和自然遗产越来越受到重视, 陆续建立了不少世界级、国家级以及省级地质公园, 迄今为止, 我国已建立国家级地质公园 138 个^[1]。地质遗迹开发利用与保护成为地学旅游的热点之一^[3]。国内外学者对地质遗迹资源的调查与评价^[4-8]、地质遗迹的开发与保护模式^[9-14]、地质公园存在的问题及可持续发展^[15-20]等方面开展了相关研究。

随着我国地质公园开发建设与保护的不断推进, 地质遗迹景观资源的保护与利用逐渐成为关注的理论与实践问题之一^[8]。以往的研究多侧重于开发利用以及成因分类, 多以地质公园为基本探讨单元, 因而对于区域的地质遗迹保护与开发利用讨论不多。对于区域的地质遗迹保护来说, 地质遗迹景观资源的分布特征及环境敏感性分析是地质遗迹保护规划及开发利用的基础, 本文试图从景观生态学原理角度出发, 以景观对环境的敏感性为切入点, 评

价地质遗迹资源受人类活动胁迫程度, 为地质遗迹资源的保护及开发利用提供建议。

2 地质遗迹景观分布特征

2.1 研究区概况

深圳市位于广东省中南部沿海, 地处 113°45'44" E ~ 114°37'21" E, 22°26'59" N ~ 22°51'49" N; 东临大亚湾, 西濒珠江口, 北与东莞市和惠州市接壤, 南与香港特别行政区相隔; 呈狭长形, 东西宽, 南北窄; 地势东南高、西北低, 地貌类型多样, 有低山、丘陵、平原、台地, 其中丘陵面积最大, 平原次之, 海岸线长约 256km。研究区包括龙岗区的东部 4 个街道办, 其中坪山面积 127.22km², 人口 9.14 × 10⁴; 葵涌面积 98.86km², 人口 5.43 × 10⁴; 大鹏面积 76.24km², 人口 3.29 × 10⁴; 南澳面积 114.04km², 人口 2.4 × 10⁴。海岸线长约 154km, 海岸类型为港湾山地海岸类型和海崖山地海岸类型。海岸山脉的高程多为 400m ~ 900m, 大鹏半岛上的七娘山、大燕顶、排牙山、笔架山等海拔高程都在 700m 以上。

2.2 地质遗迹景观分布特征

地质遗迹景观分布特征主要包括两个方面, 即景观的类型及级别^[9]。采用国土资源部《中国国家地质

收稿日期: 2007-12-14; 修订日期: 2008-05-29

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(编号: 40635028); 面上项目(编号: 40571051)。

作者简介: 刘珍环, 男, 江西泰和人, 博士生, 研究方向资源管理与区域开发。E-mail: zhenhuanliu@gmail.com

通讯作者: 吴健生, E-mail: wujjs@szpku.edu.cn

1) 数据来源 <http://www.cigem.gov.cn/ReadNews.asp?NewsID=11723>。

公园建设技术要求和指南(试行)》中的地质遗迹分类及评价系统,对东部海岸的野外调查所得地质遗迹景点进行分类,主要有 8 类,16 亚类,共计 50 个地质遗迹景点。地质地貌景观是主要的地质景观,共 47 个,占总体景观数量的 72.3%。其中,主要地质遗迹类型为火山地貌遗迹和海岸地貌遗迹,分别为 7 个和 27 个,分别占总量的 10.8%和 41.6%,火山地貌分布于两个火山喷发区七娘山及笔架山;海积地貌为沿海岸线分布的沙泥砾滩,有 15 个景点,海蚀地貌分布于南澳半岛上的各类海蚀崖、海蚀洞、海蚀柱及海蚀拱桥,共 12 个景点。花岗岩地貌以鹅公髻最为典型;砂岩风化景观分布于排牙山、田心山、观音石山;峡谷地貌共 9 个景点。水体景观主要是瀑布景观,有大鹿湖溪瀑布群、七娘山溪瀑布群、马料河瀑布群、马峦山瀑布、碧岭瀑布群及滕罗沟瀑布;崩塌遗迹与海岸峡谷伴生,主要有马料河石海、怪岩倒石堆。此外还有水库景点 3 个,人文景点 2 个(图 1)。

地质遗迹资源级别采用由科学价值、美学价值、历史文化价值、稀有性、自然完整性、环境优美性、观赏的可达性和安全性这 7 个方面的因子,在野外调查时采用专家打分方法确定。通过调查得到地质遗迹景观类型有 4 个级别,共 50 个景点。海积地貌与海蚀地貌是东部海岸的主要地质遗迹类型,其级别都较高,其中二级以上景观点数量及占二级比例分别为 6/16.13%、4/12.90%;三级景观分别占 33.3%及 25%;火山地貌景观及瀑布景观次之,以上四类地质遗迹景观是东部海岸地质主体景观(表 1)。

3 研究方法

3.1 敏感指数选择

区域地质遗迹景观分布主要受到地质遗迹类型及级别、地形地貌、植被覆盖等因素影响,利用这些因子能表征景观分布的自然环境、保护程度和开发难度等特征。人类的经济、社会、休闲娱乐等行为也是地质遗迹的主要胁迫因素,而非自然景观用地的面积百分比及景点到道路的距离能表征地质遗迹景观受人为胁迫的程度。以自然因素及人类活动因素的指数来评价地质遗迹的环境敏感性具有代表性。

(1)地形地貌。地质遗迹景观的高程及坡度因子表征地形地貌因素的制约^[21],即可以表征地质遗迹景观的可进入性。

(2)植被指数。植被指数是根据植被反射波段的特性计算出来反映地表植被生长情况和覆盖状况的间接指标,而归一化的植被指数(NDVI)是植被生

长状态及地表植被覆盖程度的最佳指示性因子。

(3)土地利用。将土地利用类型概化为非自然景观和自然景观两大类,非自然景观包括建设用地类型及所有涉及到人类活动参加的用地类型;自然景观主要指的是林地及其他未开发利用的土地类型。非自然景观对景观的威胁性明显,而自然景观对景观不具有威胁。以土地利用类型中的非自然景观类型百分比代表景点周边的主要人类活动胁迫程度状况,百分比越大则景点受到的威胁越大。

(4)道路距离。景点到道路的距离表征景观的可达性,距离道路越远则景观的可达性越小。

(5)景观类型及级别。它是表征景观的科学价值及美学价值的最基本属性。

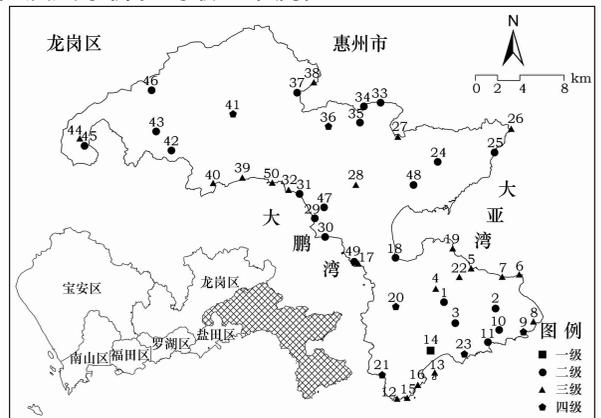


图 1 深圳东部海岸地质遗迹景点分布(图中编号与表 1 一致)

Fig 1 The distribution of geological heritages in Shenzhen east coastal zone

表 1 深圳市东部海岸带地质遗迹景点重要性评价结果

Table 1 The rank of the geological heritages in Shenzhen east coastal zone

地质遗迹 景点级别	地质遗迹景 点编号及名称	数量 / 占 总量比例
一级	14 西冲海滩	1/2%
二级	1 七娘山主峰 2 大燕顶 3 大鹿湖溪 11 东冲海滩 10 高排 18 仙人石 24 排牙山主峰 25 沙湾 47 咸头岭古人类文化遗址 49 英管岭化石埋藏地 29 叠福沙滩 48 大鹏所城人文遗址 30 称头角 31 官湖海滩 33 三杆笔 34 笔架山 35 火烧天 37 田心山 42 马峦山瀑布 43 碧岭溪流峡谷 46 鹏茜国家矿山公园 45 鹅公髻	22/44%
三级	4 七娘山溪 5 杨梅坑 22 响水坑 6 鹿嘴 12 穿岩 15 怪岩 16 磨刀坑 13 赖氏洲 8 马料河 7 高山角 17 水头沙 19 桔钓沙 26 虎头嘴 27 坝光泥滩 28 钓神山构造 32 鲨鱼涌海滩 38 观音石山 50 土洋角 39 上洞下洞 40 溪涌 44 滕罗沟溪谷	21/42%
四级	23 崖头顶 9 李伯坳 20 枫木浪 21 鹅公湾海滩 36 罗屋田水库 41 赤坳水库	6/12%

3.2 数据来源与处理

研究区地质遗迹景点的基本信息数据来源于野外地质遗迹调查,包括地质遗迹景点的分布、景观等级、景观类型等景点基本信息。用于环境敏感性的数据主要有:基于2005年 landsat TM 影像解译数据,包括土地利用数据及 NDVI 指数数据;基于 DEM 提取的高程及坡度分布数据,道路数据。获得以上数据后,在 ArcGIS 中建立了基础信息数据库(表2)。

表2 研究数据来源及说明

Table 2 Data source

基础数据	数据来源及说明
DEM 数据	深圳市 1:1 万地形图
道路数据	土地利用变更调查(1:1 万)
NDVI 指数及土地利用数据	2005 年 12 月 Landsat TM 影像(分辨率 30m)
地质遗迹景点基本信息	2006 年 4 月野外调查

地质遗迹景点的景观主要散布在半径为 1km 的范围内,这个距离内的值能够代表地质遗迹的基本属性,可以用地质遗迹景点的 1km 缓冲区代表景点的环境敏感性范围。利用 DEM 提取景点的高程及坡度信息;采用 2005 年 Landsat TM 卫星的 TM₃、TM₄ 波段,计算出归一化植被指数(NDVI)^[21]。采用 2005 年 Landsat TM 影像经监督分类解译的土地利用分类图,概化为非自然景观和自然景观两大类,得到景点缓冲区内的土地利用类型。利用区域统计功能统计,统计景点 1km 内的高程、坡度及植被指数的均值代表景点的因子值,统计景点 1km 内的建设用地百分比代表景点的因子值;利用相邻功能计算景点到道路的距离,以点到道路的直线距离代表道路因子值。

3.3 敏感指数分析

利用聚类分析功能,将高程、坡度、植被、非自然景观百分比、道路距离、景观等级及类型数据先做极差标准化处理(表3),再进行最短距离聚类分析,得到聚类结果。通过聚类分析,可将地质遗迹景观对环境敏感性划分为 3 种影响类型:未受影响景点类型、轻度影响景点类型、威胁严重景点类型。未受影响景点类型主要是环境敏感性低,现状开发程度低的景点;轻度影响景点类型主要是环境敏感性高,现状开发程度较低的景点;威胁严重景点类型主要是环境敏感性高,现状开发对景点产生威胁。

4 结果分析

深圳市东部海岸是地质遗迹丰富区域之一,迄今为止,已有 1 个国家级地质公园、2 个省级自然保

表3 地质遗迹景观环境影响因子极差标准化数据

Table 3 The analysis result of environmental sensitivity to geological heritage

编号	植被	坡度	高程	土地利用	距道路距离	等级	景观类型
1	0.9126	0.8523	1.0000	0.0000	0.2158	0.3333	0.0000
2	0.9646	0.7033	0.9312	0.0000	0.2003	0.3333	0.2000
3	0.8789	0.5679	0.3339	0.0015	0.0758	0.3333	0.6667
4	0.8207	0.7454	0.6050	0.0000	0.2213	0.6667	0.6667
5	0.5593	0.3224	0.0567	0.1273	0.0000	0.6667	0.2667
6	0.6563	0.6381	0.0983	0.0336	0.0745	0.6667	0.2667
7	0.8053	0.5864	0.1441	0.0371	0.0001	0.6667	0.3333
8	0.8699	0.6154	0.2800	0.0000	0.0138	0.6667	0.5333
9	0.8256	0.5875	0.2457	0.0000	0.0016	1.0000	0.3333
10	0.8920	0.6275	0.4373	0.0070	0.0882	0.3333	0.3333
11	0.4915	0.3432	0.0990	0.0421	0.0046	0.3333	0.2667
12	0.5755	0.7016	0.2691	0.0000	0.2335	0.6667	0.3333
13	0.2741	0.1031	0.0034	0.0000	0.1342	0.6667	0.3333
14	0.6486	0.1435	0.0623	0.0870	0.0096	0.0000	0.2667
15	0.6036	0.6690	0.1695	0.0000	0.2474	0.6667	0.3333
16	0.6433	0.6242	0.1943	0.0224	0.1670	0.6667	0.3333
17	0.4368	0.2802	0.0375	0.3304	0.0541	0.6667	0.2667
18	0.0050	0.0000	0.0000	0.0458	0.0507	0.3333	0.3333
19	0.7602	0.4163	0.0852	0.1011	0.0688	0.6667	0.2667
20	0.6432	0.4207	0.1358	0.2358	0.0440	1.0000	0.8667
21	0.6952	0.5402	0.2447	0.0000	0.0961	1.0000	0.2667
22	0.9341	0.6508	0.4556	0.0006	0.1169	0.6667	0.2000
23	0.6497	0.6329	0.2049	0.0000	0.1282	1.0000	0.3333
24	0.9213	0.8552	0.8108	0.0000	0.3850	0.3333	0.6000
25	0.6541	0.1913	0.0704	0.0086	0.7716	0.3333	0.2667
26	0.5665	0.4579	0.0776	0.0000	1.0000	0.6667	0.3333
27	0.3924	0.0830	0.0101	0.0610	0.1645	0.6667	0.2667
28	0.6620	0.2177	0.1622	0.2123	0.0784	0.6667	0.6000
29	0.3801	0.3749	0.0874	0.3474	0.0636	0.3333	0.2667
30	0.3452	0.1862	0.0311	0.7739	0.0677	0.3333	0.3333
31	0.5499	0.4203	0.1271	0.3150	0.0204	0.3333	0.2667
32	0.4624	0.4402	0.0630	0.3305	0.1109	0.6667	0.2667
33	0.7655	0.8319	0.4571	0.0000	0.1316	0.3333	0.6000
34	1.0026	0.9999	0.7044	0.0000	0.1796	0.3333	0.2000
35	0.9747	0.7184	0.6687	0.0000	0.1388	0.3333	0.2000
36	0.7506	0.3929	0.1727	0.2411	0.2066	1.0000	0.8667
37	0.8867	0.8960	0.7763	0.0000	0.1886	0.3333	0.4667
38	0.8134	0.8470	0.4831	0.0000	0.1325	0.6667	0.4667
39	0.3973	0.2367	0.0617	0.5834	0.0029	0.6667	0.2667
40	0.4009	0.3228	0.0681	0.4652	0.0067	0.6667	0.2667
41	0.4619	0.3365	0.1671	0.3658	0.2121	1.0000	0.8667
42	0.7607	0.3527	0.5495	0.4908	0.3561	0.3333	0.6667
43	0.7192	0.5581	0.4626	0.0198	0.2777	0.3333	0.6667
44	0.5090	0.4419	0.2456	0.2309	0.0952	0.6667	0.6667
45	0.8565	0.6998	0.6554	0.0102	0.1693	0.3333	0.4000
46	0.3840	0.0986	0.1059	0.5483	0.0102	0.3333	0.9333
47	0.6989	0.3960	0.1183	0.1659	0.0249	0.3333	0.0667
48	0.7244	0.0123	0.2169	0.0630	0.1523	0.3333	1.0000
49	0.5591	0.4121	0.1093	0.2927	0.0905	0.3333	0.1333
50	0.1886	0.1025	0.0169	1.0000	0.0354	0.6667	0.2667

注:编号所对应的地质遗迹景点与表1中的一致。

护区。受快速城市化的影响,地质遗迹景观受到人为影响的程度越来越大,有些甚至因认识不足直接被破坏,因而评估人类活动对地质遗迹景观的影响也显得尤为重要。选择此区域进行地质遗迹环境敏感性研究具有重要的参考意义。借鉴景观生态规划中的景观影响因子分析方法,对地质遗迹景观环境影响的程度进行分析,进而得到地质遗迹景观保护的模 式,并提出有效的保护手段^[21]。

基于景点的聚类结果表明(表4):未受影响景点类型的主要特征是景观的1km范围内的景观平均海拔高,平均坡度值高,植被覆盖度密,土地利用类型多为自然景观用地,人为活动很难进入的区域,主要景观类型为火山地貌和断层崖及瀑布,景观级别高。主要分布于田头山—排牙山省级自然保护区及大鹏半岛国家地质公园的核心区,这类景点有15个,占30%。

轻度影响景点类型主要特征是景观的1km范围内的景观平均高程分布低,坡度低,植被覆盖中等,地质遗迹景观类型主要是海积地貌和海蚀地貌,级别较高,景观的可达较便捷。主要分布于大鹏半岛海岸边及水库水源保护区内。这类景观的数量为26个,占52%。

威胁严重景点类型在景观的1km范围内的景观平均高程分布低,坡度低,植被覆盖低,地质遗迹景观类型主要是海蚀地貌及东部海岸数量较少的景点,级别较高。人类活动频繁,表现为周边非自然景观比例比自然景观比例要高很多。地质遗迹景观重要性没有受到足够的重视,地质遗迹景观存在严重的威胁。这类景点共9个,占地质遗迹景点的18%。

5 结论及建议

5.1 结论

地质遗迹资源的认识及开发利用,是城市旅游开发及社会可持续发展的重要组成部分^[19]。深圳东部海岸带的主体地质景观类型为地质地貌景观,共47个,占总体景点数量的72.3%,而其中主要的地质遗迹类型为火山地貌遗迹和海岸地貌遗迹,分别为7个和27个,占总量的10.8%和41.6%。东部海岸地带面积约437km²,主要以一级、二级地质遗迹景点为主,数量及比例分别为22、44%和21、42%。

区域地质遗迹景观主要受到地质遗迹类型及级别、地形地貌、植被覆盖等自然因素影响和人类的经

表4 地质遗迹景观环境影响因子的聚类结果

Table 4 The cluster analysis result of environmental sensitivity to geological heritage

类型	景点聚类	数量/比例
未受影响	1 七娘山主峰; 2 大燕顶火山口; 3 大鹿湖瀑布; 4 七娘山瀑布; 10 高排海蚀崖; 22 响水坑火山岩; 24 排牙山断层崖; 28 钓神山向斜; 33 三杆笔断层崖; 34 笔架山火山口; 35 火烧天火山口; 37 田心山砂岩风化景观; 38 观音石山砂岩风化景观; 43 碧岭瀑布群; 45 鹅髻花岗岩地貌	15/30%
轻度影响	5 杨梅坑; 6 鹿嘴海滩; 7 高山角海蚀崖; 8 马料河溪谷; 9 李伯坳海蚀洞; 11 东冲沙滩; 12 穿岩海蚀拱桥; 13 赖氏洲海蚀崖; 14 西冲沙滩; 15 怪岩海蚀; 16 磨刀坑海蚀柱; 17 水头沙沙滩; 18 仙人石海蚀柱; 19 桔钓沙沙滩; 20 枫木浪水库; 21 鹅公湾沙滩; 23 崖顶海蚀拱桥; 27 坝光泥滩; 29 叠福沙滩; 31 官湖沙滩; 32 鲨鱼冲沙滩; 36 罗屋田水库; 39 上下洞沙滩; 40 溪冲沙滩; 41 赤坳水库; 44 藤罗沟瀑布	26/52%
威胁严重	25 沙湾海滩; 26 虎头嘴海蚀柱; 30 秤头角海岸地貌; 50 土洋角沙滩; 42 马峦山瀑布; 46 鹏茜国家矿山公园; 47 咸头岭史前文化遗迹; 48 大鹏所城; 49 英管岭化石埋藏地	9/18%

济、社会、休闲娱乐等人类活动影响。用高程、坡度、植被表征自然因素,用景观等级及景观类型表征景点的价值属性,用非自然景观用地面积百分比和景点距道路的距离子表征人为活动的影响因素,通过因子聚类分析,得到景点的3种环境敏感性类型,即未受影响景点类型、轻度影响景点类型、威胁严重景点类型。聚类分析表明,未受影响景点类型有15个,占30%,环境敏感性低,受人类活动胁迫程度低。轻度影响景点类型26个,占52%,环境敏感性高,受人类活动胁迫程度低。威胁严重景点类型景点9个,占地质遗迹景点的18%,环境敏感性高,受人类活动胁迫程度高。

5.2 建议

未受影响景点类型对环境的敏感性低,现状能够有效有效的保护景点,景点多处于自然保护区及地质公园的核心区,建议采用地质遗迹保护区的模式保护,不能作为大批量游客的聚集区域。轻度影响景点类型对环境敏感性高但现状胁迫程度低,多处于沿海边界及保护区边缘区,又是大鹏国家地质公园的主体地质景点,在开发利用过程中,容易受到人类活动的影响,在大鹏半岛国家地质公园的开发利用过程中加强保护措施,做好开发与保护的协调统一。

威胁严重重点类型对环境敏感性高且现状胁迫严重,一部分已开发为旅游景点,一部分与城市规划的功能冲突,周边城市建设时没有对地质遗迹景点采取专门的保护措施,因而需要协调城市建设与景点的关系,建议采用划出专门的单体保护区重点保护模式。

地质遗迹景点资源的分布特征及环境敏感性分析是地质遗迹保护规划及开发利用的基础。本文在野外调查及评价的基础上,分析了地质遗迹景观的环境敏感性,并对地质遗迹景点的保护明确提出了保护的建 议,确定了9个要采用单体保护措施的景点以及26个在开发利用过程中需要采取协调统一保护措施的景点。基于以上的分析能定量的得出哪些需要保护的景点及确定相应的保护模式,而具体的保护措施规划及保护可以运用景观生态规划原理,建立区域的地质遗迹保护规划,将是下一步研究的重点。

致谢 感谢审稿人及编辑提出的修改意见。

参考文献 (References):

- [1] 张成渝. 中国地质遗产概念的确定[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(2): 247 ~ 259. [ZHANG Chen-yu. The definition of the geological heritage in China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium of Universtatis Pekinensis*, 2005, 41(2): 247 ~ 259.]
- [2] 赵逊, 赵汀. 从地质遗迹的保护到世界地质公园的建立[J]. 地质评论, 2003, 49(4): 389 ~ 399. [ZHAO Xun, ZHAO Ding. The process from the geoheritage conservation to the construction of world geoparks[J]. *Geological Review*, 2003, 49(4): 389 ~ 399.]
- [3] 钱小梅, 赵媛. 世界地质公园的开发建设及其对我国的借鉴[J]. 世界地理研究, 2004, 13(4): 79 ~ 85. [QIAN Xiao-mei, ZHAO Yuan. Development of the world geopark and it's reference to China[J]. *World Regional Studies*, 2004, 13(4): 79 ~ 85.]
- [4] 郭威, 庞桂珍, 屈茂稳, 等. 黄河壶口瀑布国家地质公园地质遗迹的保护与开发利用[J]. 西北地质, 2002, 35(3): 119 ~ 125. [GUO Wei, PANG Gui-zhen, QU Mao-wen, et al. On protection and development for geological vestige of the Hukou fall geoparks[J]. *Northwestern Geology*, 2002 35(3): 119 ~ 125]
- [5] 吴成基, 孟彩萍. 西安翠华山山崩地质遗迹资源保护[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 757 ~ 760. [WU Cheng-j, MENG Cai-ping. The research on the protection of landslide geological remains resource in Xi'an Cuihua Mountain[J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 757 ~ 760.]
- [6] 吴成基, 彭永祥. 西安翠华山山崩地质遗迹及资源评价[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 359 ~ 362. [WU Cheng-j, PENG Yong-xiang. The resource of geological remains by landslide in Cuihua Mountain, Xi'an and resource evaluation[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(4): 359 ~ 362.]
- [7] 方巍. 黄山世界地质遗迹的保护与规划[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 206 ~ 208. [FANG Wei. Conservation and planning of world geo-heritage in Mount Huangshan[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(4): 206 ~ 208.]
- [8] 吴成基, 彭永祥. 西安翠华山山崩地质遗迹及资源评价[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 359 ~ 362. [WU Cheng-j, PENG Yong-xiang. The resource of geological remains by landslide in Cuihua Mountain of Xi'an and it's evaluation[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(4): 359 ~ 362.]
- [9] 黄松. 新疆地质遗迹的分布特征与保护开发[J]. 地理学报, 2006, 61(3): 227 ~ 240. [HUANG Song. The distribution and protection of the geological heritages in Xinjiang [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(3): 227 ~ 240.]
- [10] 黄金火. 中国国家地质公园空间结构与若干地理因素的关系[J]. 山地学报, 2005, 23(5): 527 ~ 532. [HUANG Jin-huo. The spatial structure of national geoparks and its relation with some factors of geography in China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(5): 527 ~ 532.]
- [11] 彭永祥, 吴成基. 地质遗迹资源保护与利用协调性评价[J]. 资源科学, 2006, 28(1): 192 ~ 196. [PENG Yong-xiang, WU Cheng-j. Evaluation on the relationship between conservation and utilization of geological relics[J]. *Resources Science*, 2006 28(1): 192 ~ 196.]
- [12] 黄松, 李燕林. 新疆地质遗迹特征与地质公园建设[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(4): 107 ~ 111. [HUANG Song, LI Yan-lin. Features of geological heritages and construction of geopark in Xinjiang [J]. *Journal of Guangxi Normal University*, 2005, 23(4): 107 ~ 111.]
- [13] 吴成基, 韩丽英, 陶盈科, 等. 基于地质遗迹保护利用的国家地质公园协调性运作[J]. 山地学报, 2004, 22(1): 17 ~ 21. [WU Cheng-j, HAN Li-ying, TAO Ying-ke et al. The coordinative operation of national geoparks based on the protection and utilization of geological remains[J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(1): 17 ~ 21.]
- [14] 黄松. 地质遗迹保护开发的实施步骤与模式优选[J]. 桂林工学院学报, 2006, 26(1): 148 ~ 152. [HUANG Song. Optimal-selection mode and step of geological heritage protection[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2006 26(1): 148 ~ 152.]
- [15] 胡炜霞, 吴成基. 论国家地质公园建设的可持续发展[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 0621(6): 29 ~ 33. [HU Wei-xia, WU Cheng-j. The sustainable development of national geoparks construction[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 0621(6): 29 ~ 33.]
- [16] 高亚峰. 地质遗迹旅游的可持续发展[J]. 北京地质, 2005, 17(2): 31 ~ 33. [GAO Ya-feng. Analysis of the sustainable tourism of the geological heritage[J]. *Beijing Geology*, 2005, 17(2): 31 ~ 33.]
- [17] 胡炜霞, 吴成基. 中国国家地质公园建设特色及快速发展过程的问题与对策研究[J]. 地质评论, 2007, 53(1): 98 ~ 103. [HU Wei-xia, WU Cheng-j. The characteristics of national geopark in China, some problems and a study on some measures for its rapid construction[J]. *Geological Review*, 2007, 53(1): 98 ~ 103.]
- [18] 黄松, 李江风, 胡明安. 新疆地质遗迹空间格局区划系统构建及其特征的定量表征[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 287 ~ 296. [HUANG Song, LI Jiang-feng, HU Ming-an. Construction of the multi-level system of spatial patterns of geological heritages in Xinjiang and its quantitative characterizations [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(2): 287 ~ 296.]
- [19] 穆桂松, 李大伟. 我国地质公园建设中的问题和对策[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(4): 79 ~ 81. [MU Gui-song, LI Da-wei. The

- problem and countermeasure of the construction of china's geopark [J]. *Areal Research and Development*, 2007, 26(4): 79~81.]
- [20] 胡炜霞, 吴成基. 论中国国家地质公园的泛化[J]. 科技管理研究 2007, (2): 217~219. [HU Weixia, WU Chengji. The generalize problems of national geopark in China[J]. *Science and Technology Management Research*, 2007, (2): 217~219.]
- [21] 郭伟, 李书恒, 朱大奎. 深圳东部海岸地貌环境与可持续发展 [J]. 地理学报, 2007, 62(4): 377~386. [GUO Wei, LI Shu-heng, ZHU Da-kui. Geomorphological environment and sustainable development of Shenzhen East Coastal Zone[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 377~386.]
- [22] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. [XIAO Du-ning, LI Xiu-zhen, GAO Jun, et al. *Landscape Ecology*[M]. Beijing: Science Press, 2003.]

Environmental Sensitivity Analysis of Geological Heritage Sites in Eastern Shenzhen Coastal Zone

LIU Zhen-huan^{1,2}, WU Jian-sheng^{1,2}, WANG Yang-lin^{1,2}, ZENG Xiang-kun^{1,2}, XIE Miao-miao^{1,2}

(1. *The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China;*

2. *College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: There has been significant growth in practical interest and theoretical research involving geological heritage protection and development with the construction and development of Geo-parks in China. The perspective of landscape ecology principles and landscape environmental sensitivity analysis is useful for evaluating human impacts on geological heritage sites and planning for geological heritage protection.

Characteristic of geological heritage site distribution and environmental sensitivity is the fundamental issue of geological heritage protection and development. Shenzhen's eastern coastal zone area covers 437km². According to our investigation, the main type of geological heritage is geological geomorphic landscape, at a total of 47 sites, accounting for 72.3% of all geological heritage sites in the study area. It includes 7 coastal geomorphic landscapes and 27 volcanic geomorphic landscapes, accounting for 10.8% and 41.6% of all the heritage sites respectively. 22 heritage sites, or 44% of the total, can be ranked as national geological heritage sites. 21 heritage sites, or 41% of the total, can be ranked as provincial geological heritage sites. Based on the factors of elevation, slope, vegetation coverage, land use, distance to roads, and heritage rank and type, all the heritages can be classified into 3 types according to the level of human influence: weakly influenced, slightly affected and seriously threatened. We also identified 9 heritage sites that need careful protection and 26 heritage sites that need to adopt protection measures during the period of development.

The weakly influenced type has low environmental sensitivity. The use of the geological relics protection model is proposed for these landscapes. The slightly influenced type has high sensitivity to the environment but is currently only slightly impacted by human activities. Significant measures should be taken to enhance the harmonization of development and protection during the construction and development of Dapeng Peninsula National Park. The seriously threatened type is both highly sensitive to the environment and receives serious threat from human activities. The use of a single special protection area mode should be proposed.

Based on environmental sensitivity analysis, we develop a new perspective for protection and development of geological heritage sites. This paper provides some concrete suggestions for the protection and development of geological heritage resources in the Shenzhen eastern coastal zone.

Key words: Geological heritage; Distribution characteristic; Environmental sensitivity analysis; Shenzhen eastern coastal zone