

# 珠江三角洲经济区泛都市化趋势下的环境地质问题

支兵发 梁家海 梁向阳 卢耀东

(广东省地质调查院, 广东 广州 510080)

**摘要:** 珠江三角洲经济区地质环境脆弱。在泛都市化趋势下, 人类经济—工程活动对地质环境的影响将趋增大, 环境地质问题日益成为该区社会经济可持续发展的制约因素。本文根据近年来地质调查成果资料, 较为系统总结了有关环境地质问题, 并从成因角度对这些问题进行了划分。作者认为研究区城市化决策与实践忽视城市地学工作成果的应用与城市地学工作系统性不足, 建议尽快系统地开展以环境地质为主体的城市地学工作, 并加强地质部门与城市规划、建设部门之间的沟通与合作以及城市地学科普工作, 提高人们对地学工作的重要性认识, 以增强城市地学成果的社会服务功能。

**关键词:** 地质环境脆弱性; 环境地质问题; 可持续城市化; 泛都市化; 珠江三角洲经济区

**第一作者简介:** 支兵发, 男, 汉族, 1976年11月出生, 2001年6月毕业于中国地质大学(武汉), 获工学硕士学位, 现从事水文地质环境地质调查研究工作。

珠江三角洲经济区位于广东省中南部, 濒临南海, 毗邻港澳, 行政辖域上包括广州市、深圳市、珠海市、东莞市、中山市、江门市、佛山市、惠城区、惠阳区、惠东县、博罗县、肇庆市区、高要市、四会市, 陆地总面积约 $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占广东省国土面积的23.2%、全国的0.44%。

改革开放以来, 该区一跃成为广东经济社会发展的龙头和主体, 中国区域中最具生机活力的重要增长极之一<sup>[1]</sup>, 成为我国沿海地带最发达、经济发展最快的三大经济单元之一。与此同时, 该区成为人口最为聚集的地区之一, 流动人口之多在全国屈指可数, 城乡一体化基本实现, 快速城市化进程日渐显现泛都市化趋势<sup>[2]</sup>。全省十大重点工程大多集中在此区域。

该区地处地质环境的过渡带和敏感带, 地质环境脆弱。在泛都市化趋势下, 一系列环境地质问题日益成为该区社会经济可持续发展的制约因素。

2000~2003年, 在中国地质调查局统一安排下, 由广东省地质调查院组织实施了《珠江三角洲经济区1:25万生态环境地质调查》。本文以该项目成果资料为依据, 在总结人类活动特点和地质环境脆弱性基础上, 探讨了泛都市化趋势下若干影响该区社会经济可持续发展的环境地质问题。

## 1 泛都市化趋势下人类活动的特点

城市化趋势是社会经济结构变化最主要的物理特征和社会形态向最高层次发展的客观表现形式, 城市化水平是一个国家或地区现代化程度的突出标志<sup>[3]</sup>。改革开放以来, 珠江三角洲经济区经历了一个历史性的社会经济大跨越, 工业化进程迅速疾进, 以广州和深圳为核心的城市群快速崛起, 城市化整体水平得到互动发展<sup>[1]</sup>, 村落“集镇化”, 集镇“市镇化”, 县城和小城市“大都市化”, 而大中城市则“国际化”。1995年以来, 该区广大乡村地区达到都市化的成熟阶段, 城乡一体化基本实现, 城市化和国际化程度不断提高<sup>①</sup>。经过二十余年的发展, 珠江三角洲经济区集中了广州、深圳两个特大城市、近10个大中城市、20多个县级中心城市以及400多个建制镇, 泛都市化趋势逐渐显现(图1)。尽管从都市的内涵而言, 区域内成熟的乡村都市化地区还不是严格意义上的都市, 存在“常住人口”与“户籍人口”的巨大差异, 但从土地景观的意义上讲, 整个地区已形成很广泛的都市区, 而且泛都市区的核心区成熟以后, 还有不断向周边地区扩展的趋势, 扩展的非珠三角地区也逐渐与珠三角融为一体, 随着三角洲对周边地区的影响和带动, 泛都市区会不断扩大<sup>①</sup>。

在泛都市化趋势下, 该区人类活动具有明显的地域性特点。

地调项目: 中国地质调查局国土资源调查项目(编码: 200012300104)部分成果。

① 周大鸣. 泛都市区(Extensive-Metropolitan Region)与珠江三角洲城市化未来发展方向. <http://www.usc.cuhk.edu.hk/>

特点之一，人类活动方式已从农事活动、采矿活动、围海造地、堤围修筑等扩展到与城市发展、经济建设密切相关的方方面面，人类活动现已涵盖对地球表层各种空间资源的利用。

特点之二，人类活动具有多重生态地质环境效应，且不同类型的人类活动有可能引起同一类型的生态环境地质问题。例如面积填海工程有可能引起河口港口淤积、湿地变化、沿海红树林生态系统退化、咸潮上涌；矿山开发与农事活动一样引起地表水污染、地下水污染以及土壤污染。

特点之三，人类活动主要集中在该区社会发展总体规划的大都市连绵区，范围大体包括了广州市（不包括增城市和从化市）、东莞市、深圳市（包括宝安区）、佛山市（禅城区、南海区、顺德区）、中山市、江门市（市区、新会区）、珠海市（包括斗门区）等。

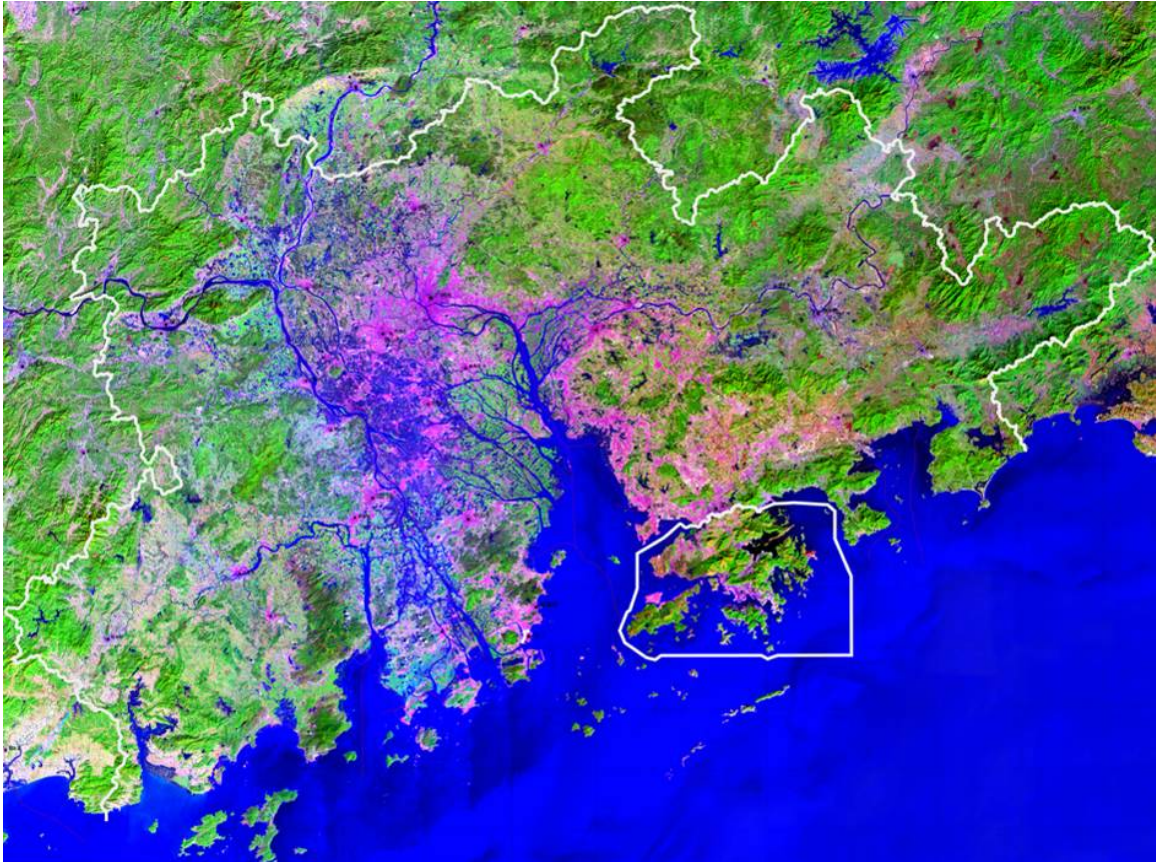


图1 珠江三角洲经济区泛都市化趋势遥感影像图

说明：图中紫红色区域为泛都市区

特点之四，人类活动在平原区内以城建活动，铁路、公路等线状工程建设，垃圾填埋场等点状工程建设，农事活动为主；丘陵—台地区、丘陵—低山区以建材、矿产、坡地等环境资源开发利用为主；海岸带则以面积性填海工程、滩涂资源开发利用为主。

特点之五，改革开放之后尤其是1990年以来人类活动强度日趋增强。表1、表2所列三个时相的数据反映了人类活动增强的趋势。从经济区东部遥感解译的成果来看，城市化在大规模扩展，城镇建筑面积由1990年的8.6%增加到2000年的14.8%，增加了近一倍；耕地面积不断减少，由1990年的19%减少到2000年的13.6%（表3）。随着“9+2”泛珠三角合作框架协议的签署，该区城市发展的步子将进一步加快。按照各城镇规划面积统计，到2010年全区城镇面积将超过 $1.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，非农建设用地达 $1.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ （占全区土地总面积1/3以上），届时全区70%以上的平地将成为建设用地<sup>[4]</sup>。可以预见未来几十年人类工程活动将规模空前。

表1 城镇建设用地面积变化情况表

地级市	70年代末	80年代末	90年代末
广州市	80.5	167.7	651.2
深圳市	3.87	178.5	481.3
珠海市	8.67	28.81	243.7
佛山市	30.1	81.1	540.6
江门市	32	65.1	301.9
肇庆市	25.7	36.2	125.6
惠州市	16.8	31.4	235
东莞市	16.7	53	535.1
中山市	14.6	35.5	259.9
合计	234.8	677.3	3374.2

表2 珠江三角洲经济区交通建设情况表

类 型	单 位	70年代末	80年代末	90年代末
铁路长度		286.3	373.0	570.9
高速公路		0	18.9	1137.7
公路 国道	km	1023.1	1015.1	1016.5
长度 省道		1818.0	2044.9	3738.5
合 计		2841.1	3078.8	5892.7
机场 数 量	个	4	5	7
占地面积	km <sup>2</sup>	3.5	4.9	13.9
港口 数 量	个	19	29	22
码头 占地面积	km <sup>2</sup>	3.081	6.066	13.177

说明：表1数据来源据《广东省国土资源遥感综合调查报告》，单位为km<sup>2</sup>

表3 1990年与2000年NDVI指数分区值对比表

NDVI值	分 区 类 型	1990年占总面积百分比 (%)	2000年占总面积百分比 (%)
-1~-0.5	水体（江、河、湖、海）	24.3	24.1
-0.5~0	城镇建筑	8.6	14.8
0~0.5	农作物、耕地、养殖	19.4	13.6
0.5~0.75	竹林、灌木、草地（植被）	25.4	24.9
0.75~1	森林（植被）	22.3	22.6

特点之六，人类活动无序的状况将有所缓解。所谓无序是指人类活动因盲目、不考虑后果、缺乏引导与监督从而容易造成生态地质环境变异并衍生生态环境地质问题的状况。随着教育水平的提高、人们环境意识的加强、法制与监督体系的完善以及相关技术的发展，人类活动将会有所规范，从而使无序活动得到一定程度的遏制。尽管如此，大规模有计划的人类活动仍需充分顾及可能产生的后果。

## 2 地质环境脆弱性

人类活动是环境地质问题成生发展的外因，地质环境脆弱性则是其内因。认识地质环境脆弱性无疑有助于环境地质问题的研究。珠江三角洲经济区地质环境脆弱性主要体现在如下几个方面。

### 2.1 基岩区残积土层较为发育

该区基岩区约占陆地总面积的60%，其中以侵入岩（花岗岩类）为主的岩浆岩分布区约占三分之一。由于岩石风化作用强烈，基岩区残积土层发育。花岗岩分布区因长石、云母等不稳定矿物含量较高（一般约占70%），残积土层厚度通常较大（>20m），除中高山、沿海岛屿风化残积层小于5m外，丘陵一台地区一般大于5m而成为主要水土流失易发区；变质岩、火山喷出岩分布区残积土多为混角砾碎屑的粘性土，厚度一般<3m，所分布的区段泥石流易发。

### 2.2 第四纪松散沉积区软弱土层普遍发育

珠江三角洲经济区第四纪松散沉积层广泛分布，分布面积约占该区陆地面积五分之二，成因类型包括冲积、洪积、冲洪积、海积及冲海积。冲积、洪积、冲洪积层主要分布于三角洲边缘的山间谷地和河流阶地，厚度一般<10m，常具二元结构，上部为中细砂或粉细砂质粘土，下部为夹有碳化木块的粗砂砾石，一级阶地冲积形成的泥炭土<sup>14</sup>C年代为距今7580±170a。冲海积、海积层大面积分布于三角洲平原与沿海地带，主要是中、晚全新世海侵时期的海湾沉积与沿海河流冲积交互作用的产物，平均厚度25.1m，最大厚度63.6m，上游地区以灰黄色或灰褐色粉砂粘土、淤泥质粘土为主，下游地区多为深灰色粉砂质淤泥、淤泥。

软弱土层分布面积近8000 km<sup>2</sup>，约占全区陆地面积的五分之一，其中城镇最为密集的三角洲平原区是软土分布最广的地区，软土分布面积占到经济区软土分布总面积的 82.25%（图

2)。自珠江三角洲顶端向河口地带，软土厚度增大、层次增多、固结程度变差、成因由河漫滩相向海相过渡、岩性由淤泥质土相变为淤泥。根据钻探资料、 $^{14}\text{C}$ 测年、孢粉分析结果，三角洲软土在垂直方向上大致可分成三大层，分别与三角洲地区晚更新世—全新世所发生的三次较大的海侵对应，沉积年代越新软土，其厚度越大，含水量、液限、液性指数、孔隙比越大，而沉积年代越老力学强度越大，表现为压缩系数变小、压缩模量和凝聚力随之增大（表4）。在自然动力作用或人为活动的影响下，软弱土层易产生地面沉降并对地面和工程建筑造成危害。

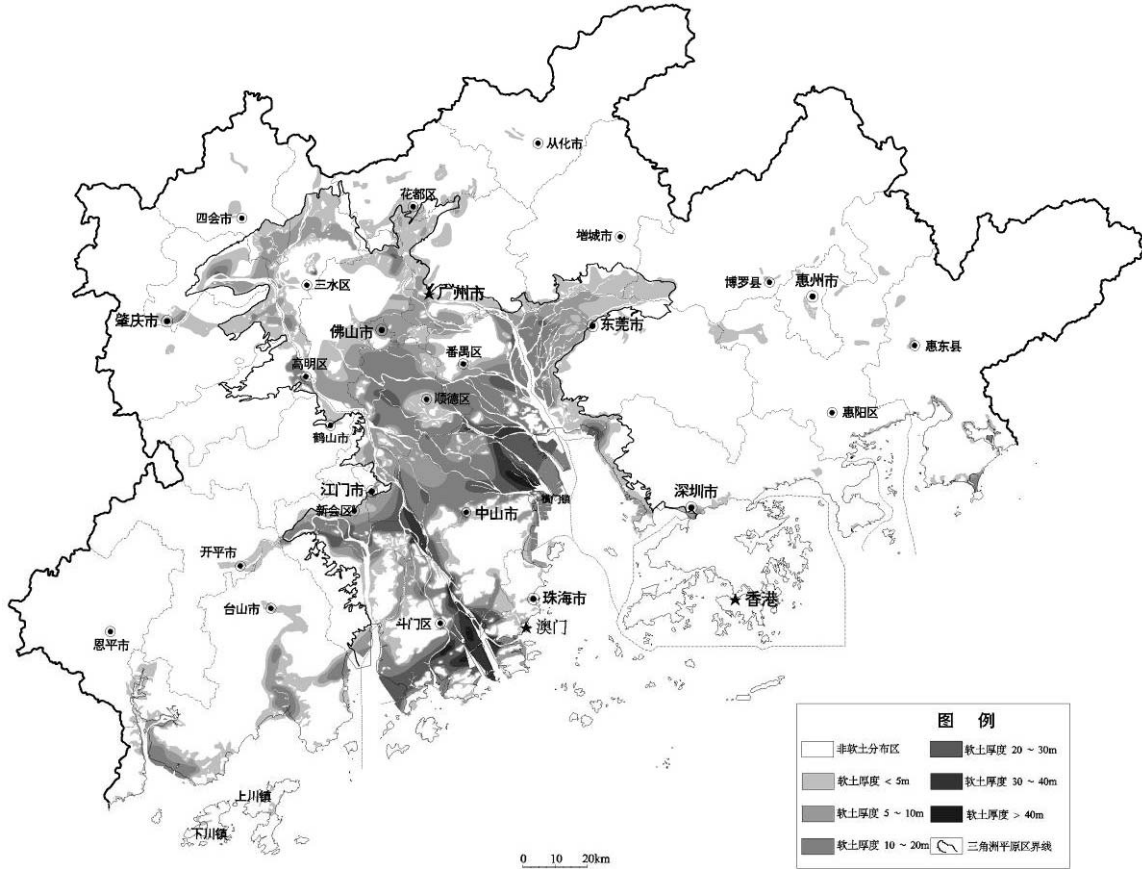


图2 珠江三角洲经济区软土分布图

表4 珠江三角洲软土特征与主要物理力学性质

淤泥层	沉积时期	主要特征	顶板埋深	厚度			主要物理力学性质指标(平均值)						
				一般	平均	最大	$w_0$	$w_L$	$I_L$	$e_0$	$a_{1-2}$	$E_s$	$C$
				m			%		—		$\text{MPa}^{-1}$	MPa	kPa
第一层	晚更新世末期	含贝壳碎屑	0.0-5.0	1.5-21.9	9.5	42.7	60.2	45.7	1.89	1.66	1.44	2.45	6.90
第二层	全新世近代期	含蚝壳, -常夹粉细砂	2.6-20.8	1.5-11.0	6.0	37.5	50.6	40.1	1.64	1.34	0.97	3.76	11.77
第三层	全新世末期	海相含贝壳碎片, 河漫滩相含腐木	5.3-24.0	0.6-7.9	3.7	20.4	42.3	38.6	1.26	1.18	0.75	5.01	13.79

此外，三角洲河网区、东江惠州段易液化砂土分布面积达 $213\text{km}^2$ ，埋深一般 $1.5\sim 12.8\text{m}$ ，厚度 $1.5\sim 10.5\text{m}$ ，标贯击数 $2.3\sim 7.4$ 。松散饱和的粉砂、细砂和粉土一旦经动荷载作用（地震、打桩、爆破、机械振动），易发生液化并对地面和工程建筑造成破坏。

### 2.3 新构造运动活跃

自晚白垩—第三纪以来新构造运动活跃,以继承性活动为主。据广东省地质志,该区有NE-NNE向莲花山深断裂带、紫金—博罗大断裂带、东江断裂带、恩平—新丰深断裂带、吴川—四会深断裂带、EW向高要—惠来深断裂带与NW向西江大断裂带、珠海—信都大断裂带穿越<sup>[5]</sup>。高要断裂、恩平—苍城、金鸡—鹤城、广州—古劳、广从断裂、广三断裂、深圳断裂、平海断裂、汤湖断裂、赤石—沙田断裂、西江断裂、沙角断裂、崖门断裂等至今仍在活动。例如,据地震局监测资料,广从断裂在1973~1979年中该断裂活动量为26.5mm,平均每年活动速率达4.4mm;广州市区瘦狗岭断裂(广三断裂的一部分)1998年3月两盘高差变化最大值为3.34mm,西江断裂横坑里段1997年11月为2.38mm,1991~1995年平均活动速率0.56mm/a。深圳地质局近5年监测结果表明<sup>①</sup>,深圳断裂目前处于缓慢释放应力蠕变状态,趋向性蠕变速率为0.17~0.35mm/a。

### 2.4 隐伏碳酸盐岩岩溶发育

肇庆市区周边、广花盆地、恩平—开平、深圳市龙岗区、惠阳淡水镇、矮陂镇、增城市派潭等地碳酸盐岩分布面积1474km<sup>2</sup>,但绝大部分为第四纪松散沉积层所覆盖。碳酸盐岩主要产于奥陶系罗洪—罗东组,泥盆系天子岭组、春湾组—天子岭组,石炭系连县组、石磴子组(Cs)、测水—梓门桥组、梓门桥—大埔组、大埔组、壶天群(CH)以及二叠系栖霞组,以壶天群、石磴子组、天子岭组灰岩岩溶最发育,见洞率分别为7.5~15.0%、5.7%、2.0~7.0%。以广花盆地为例,第四纪松散沉积层厚度一般为10~25m,地表以粘性土为主(局部为淤泥),底部常有砂层或砂砾层与灰岩接触,岩溶强烈发育带位于地下-20~80m标高段。隐伏岩溶区的水文地质条件及岩土结构十分有利于地面塌陷的形成。

### 2.5 软质岩石工程脆弱性

高要—三水—广州—东莞、恩平—开平、惠州、博罗杨村、惠阳、惠东—白盆珠等地分布的白垩系—第三系红层以及三角洲边缘地带分布的侏罗系—石炭系煤系地层中常夹泥岩、砂质泥岩、页岩、炭质页岩、煤、石膏、盐岩等力学强度相对较低的软质岩石。这类岩石出露地表易风化,常出现膨胀、泡水易软化,软化系数0.26~0.5,饱和抗压强度0.14~1.2MPa,其中石膏、盐岩长期在地下水溶蚀作用下易产生溶孔或溶沟。若选择这些岩石作为地基持力层,则建筑物易产生工程基础滑移、不均匀变形,山体及工程建设场地边坡沿软弱面产生滑坡等地质灾害,因而这类岩层对工程建设不利。

## 3 影响社会经济可持续发展的环境地质问题

城市化进程是人口聚集、产业聚集、经济增长与社会生产、生活方式转变的过程,也是大规模资源消耗、空间聚集、自然地貌格局破坏与城市地貌格局形成的过程<sup>[2]</sup>。社会经济发展、城市化进程一方面要受到地质环境脆弱因素的约束,另一方面则由于人类经济—工程活动的驱动不可避免地引发环境地质问题。珠江三角洲经济区对社会经济可持续发展具有不同程度影响的环境地质问题主要有软基沉降,海岸变迁衍生的港口、河道、口门淤积与城市洪涝,水土污染,水质性缺水,资源性缺水,构造稳定,隐伏岩溶塌陷,自然水土流失、人为水土流失以及崩塌、滑坡、泥石流,按成因类型可分为原生为主型、次生为主型、原生与次生结合型三类环境地质问题。

### 3.1 原生为主型环境地质问题

#### 3.1.1 构造稳定性问题

震级小、频率高、密集成簇发生的地震反映了珠江三角洲经济区存在构造稳定性问题。区内地震主要发生于活动断裂带及交汇部位,地震往往成带成群分布,而震级较大的地震主要沿北东向活动断裂带分布。历史上有感地震主要发生在珠江口以西的广州、顺德、中山、新会、台山、肇庆、四会等地,而1970年以后的现代地震则多分布在恩平—台山—斗门—深圳以南沿海地区。从地震史料来看,该区共发生震级超过3级的地震215次,其中4.75级以上破坏性地震13次。自1970年有仪器记录以来,区内共发生2.0级以上地震212次,年均频次7次/a,其

<sup>①</sup> 深圳市地质局,深圳市黄贝岭F8断层微量位移监测研究报告,2004年



中 3 级以上地震 59 次，4 级以上地震 4 次（均未超过 5 级）。

### 3.1.2 资源性缺水

惠东平海—惠阳霞涌—大亚湾—深圳—珠江口东岸等沿海地带及岛屿则存在突出的资源性缺水问题。目前城镇供水主要依靠远距离调度东江水源解决，本地缺乏可作为城市集中供水的地表水资源和地下水水源地，一旦遇上干旱年份或上游污染加剧等原因造成水资源的量和质发生变化时，供水问题将更加严峻。深圳市已成为我国七个严重缺水城市之一。

### 3.1.3 泥石流

该区已发生 11 处 36 宗小型泥石流，以惠东莲花山—海岸山脉等山高坡陡的侏罗系火山喷出岩（Jkn、Jkb、Jr）的地区最为易发。因火山喷出岩分布区所在为低山—丘陵，地形陡峻（一般半山腰以上坡度 $>30^\circ$ ），岩石受构造、风化作用影响节理裂隙发育，残积土厚度不大，与风化岩的接触界面明显，多为结构松散的碎石混粘性土，一旦遇上雨量充沛的季节，残积土中的粘土矿物就会遇水膨胀—软化，在汇水条件有利和坡度较陡处的风化岩、土就会沿山沟一泻而下形成泥石流，但因风化岩土薄、汇水面积小，故泥石流规模较小；尽管如此，但对附近居民、近山工程建设危害较大，泥石流不仅摧毁林地，影响地貌景观，而且直接威胁着人民生命财产安全，已成为本区地面不稳定的主要因素和区域性生态环境建设的一大隐患，1997 年广州花都区五联村的一宗泥石流，摧毁山脚下一栋两层楼房及住户 10 人全部遇难的特大事故。

### 3.1.4 自然水土流失

自然水土流失多呈片状分布于该区以花岗岩残积土层组成、植被稀少的丘陵、台地区（图 3），以惠东县、花都区、从化市、台山市、江门市西南沿海花岗岩分布区（含岛屿）分布最广、负面影响最大。该区自然水土流失面积  $630\text{km}^2$ ，占水土流失总面积的 43%。



图3 惠东县新庵镇花岗岩丘陵区自然水土流失景观

## 3.2 次生为主型环境地质问题

### 3.2.1 水土污染

珠江三角洲分布有 6000 多家规模小且布局分散的镇、村二级污染型企业，普遍缺乏有效的污水处理设施，大量污水排入江河，目前年污水排放量超过  $20 \times 10^8 \text{ t}$ ，每年还产生工业固体废弃物  $180 \times 10^4 \text{ t}$  和生活垃圾  $300 \times 10^4 \text{ t}^{[4]}$ 。流经各地市城区的河段均受到不同程度的污染，各地市界河均受重度污染<sup>①</sup>。珠江河网及口门区水体和沉积物的污染，特别是具有持久性影响的有毒有

① 广东省地质调查院，中国科学院广州地球化学研究所，广东省地质科学研究所，珠江三角洲城市化进程遥感综合调查报告，2003，p50

害重金属与有机氯农药、多环芳烃、多氯联苯等有机物污染，给生态与环境安全敲响了警钟<sup>[46-34]</sup>。广东省地质调查院取得的地调工作成果表明珠江三角洲土壤环境质量不容乐观，出现了以镉、汞、砷、铜等毒性重金属元素为主大范围区域性污染与大面积的氟、硫等有害元素污染，土壤有毒有害元素污染及其影响状况令人堪忧<sup>①</sup>。Zhang G等<sup>[35]</sup>的研究证实存在土壤有机氯农药和多环芳烃污染。广东省地质环境监测总站完成的地下水资源评价报告中论述了地下水非有机污染的现状<sup>②</sup>。傅家谟院士<sup>[36]</sup>撰文综述了环境中存在持久性有机污染物及其所造成的环境污染问题。中国科学院地学部<sup>[37]</sup>发表在《地球科学进展》上的一篇文章公布了大量关于珠江三角洲水土污染的数据。

大量事实表明，水土污染使水资源、土地资源、生物资源产生质变，使可被利用的数量减少，直接威胁生存环境，危及人类健康，影响着地区社会经济的可持续发展。

### 3.2.2 水质性缺水

在水土污染的背景下，尽管该区人均拥有水资源量为 14580m<sup>3</sup>，远高于全国人均 2500 m<sup>3</sup>的水平，但符合饮用水水质标准的地表水资源有限，加上咸潮上溯、污水回灌的叠加影响，地下水多为矿化度>1 的咸水，从而使环珠江口都市区的广州市（含番禺市、南沙开发区）、东莞市、佛山市（含顺德区、南海区）、中山市、珠海市等出现严重水质性缺水<sup>②</sup>。

### 3.2.3 人为水土流失

人为侵蚀面积 840km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 57%。人为侵蚀多呈斑点状分布于城市或市镇密集区附近，以人类建设开发场地侵蚀类型为主，多为缺少植被保护的开发生态地、建设场地边坡（含交通工程和建筑场地）（图 4）、陡坡开荒和采矿、取土区，以人类活动强烈、经济发达的深圳市、东莞市、中山市分布面积最大。此外，采矿作业造成的水土流失在局部地区影响也较严重。



图4 深圳市某缺少植被保护的开发生态地人为水土流失景观

伴随认为水土流失的发生，导致河道、山塘、水库淤浅与淤积（图 5），河床升高、洪涝频繁，使农作物减产失收。如河台尚德高岭土开采场 5km 的河道严重淤积，大片良田被淹没，其中坑口村河道淤积（厚约 6m），埋没房屋十多间，冲毁二十多间，整个村庄被迫迁移数 10m；从化鳌头镇石咀村高岭土开采场造成下游河道淤积（厚约 3~5m），河道两侧农田被埋，连绵数公里。

① 见 2004 年 5 月 9 日广东省政府常务会议上杜海燕教授所做的《广东珠江三角洲土壤有害重金属元素污染调查情况》汇报稿。

② 广东省地质环境监测总站. 广东省、香港、澳门特别行政区地下水资源评价. 2002. p35~38



图5 深圳市石岩镇人为水土流失造成河道淤积

### 3.3 原生与次生结合型环境地质问题

#### 3.3.1 软基沉降

平原区内珠江口门附近软土厚度大，形成时间短，是软基沉降的重点区段。软基较为集中地分布在软土厚度大于 20m 的区段内，代表性区域为广州市番禺区南部、中山市北东部，珠海市西南部。中山市横门镇、民众镇、广州南沙经济技术开发区、珠海西区、江门市新会区古今洲开发区等地存在明显的面积性软基沉降。珠海大道、新台高速、广佛高速、广珠高速与中山市、珠海市、广州市番禺区境内公路等软基路段也存在明显的沉降现象。根据调查资料综合分析获得了软基沉降灾害易发程度分区（图 6）。

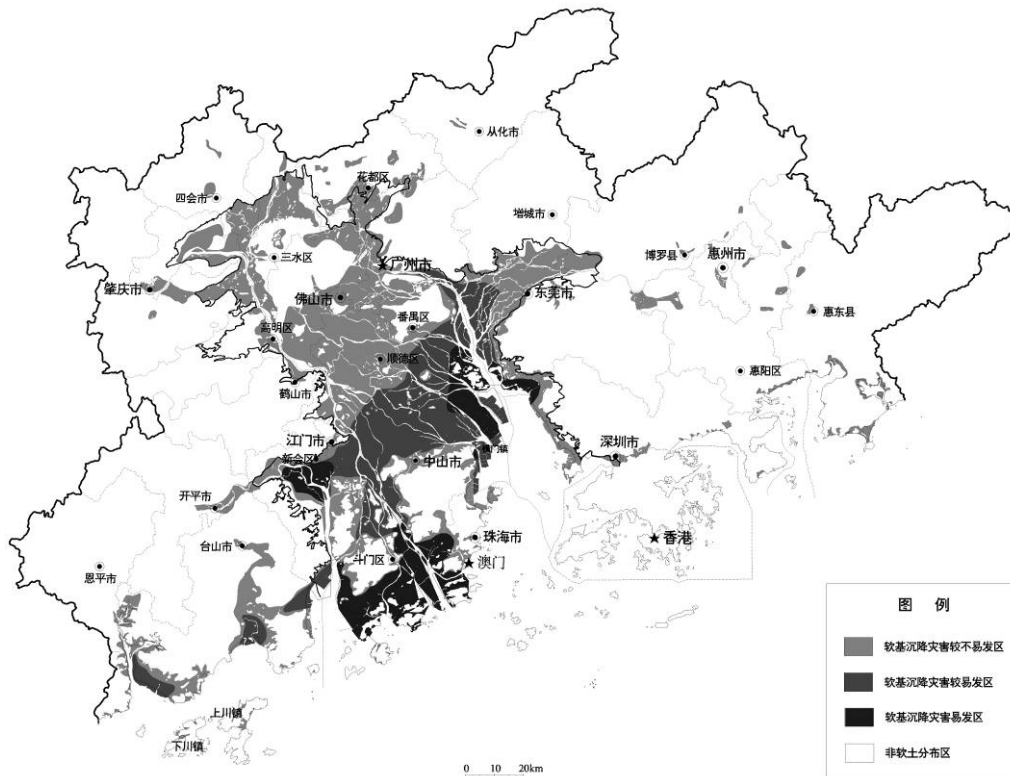


图6 深圳市石岩镇人为水土流失造成河道淤积



调查资料表明，到 2003 年止区内沉降累计量最小值为 0.1m，一般值在 0.3~ 1.7m。珠海大道路面三等水准 2003 年跟 1994 年测量结果对比，表明 10 年来珠海大道年平均沉降量为 0.37m，最大沉降量达 0.73m（图 7）。珠海市金湾区高尔夫球场沉降最大处累积地面下沉量 2.97m，是目前发现最大的累计沉降量。在软土厚度大于 30m 的区段，年均沉降速率多在 0.1~ 0.3m /a 之间。

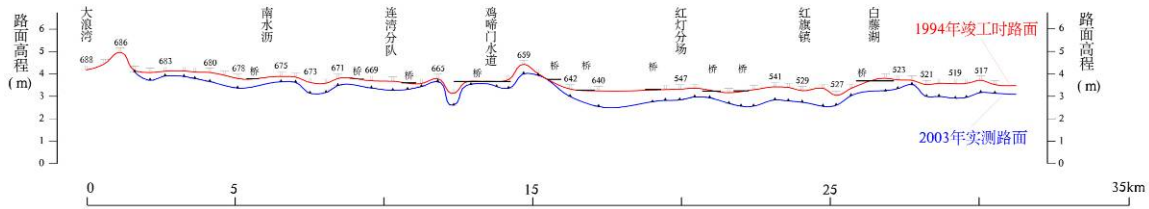


图7 珠海大道软基沉降实测结果示意图

建于新近沉积的软土分布区的工程建筑，大多不同程度受到软基沉降的影响（图 8）。部分直接建造于软土硬壳层上的低层建筑常与地面整体下沉、歪斜开裂，以基岩为持力层的中高层建筑物则往往出现地板陷落、悬空吊脚；经过软土区的公路，多发生路面波状起伏、路基位移、路桥连接处不均匀沉降、路面开裂等现象。软基沉降严重影响工业与民用建筑工程、堤围水利工程、地下供水—供电网络等基础设施的正常使用，或使路面凹凸不平不能发挥正常运营。这不仅造成南部沿海数以亿元计的经济损失，而且还导致部分商住楼无人问津，严重影响了投资环境。



图8 软基沉降导致中山市横门上百栋楼房被迫中途停工

### 3.3.2 海岸变迁衍生的港口、河道、口门淤积与城市洪涝

唐代以前，该区海岸线向海推进速率平均小于 10.2m/a，唐、宋期间约为 15m/a，宋、明以后约为 20m/a<sup>[38]</sup>。大规模的人类经济工程活动使一百二十余年来海岸发生异常变迁，以万顷沙至横门和灯笼沙至平沙农场最为明显。1883 年至 20 世纪八十年代初，万顷沙、灯笼沙向海推进速率平均分别达到 63.3m/a 与 121.7m/a<sup>[38]</sup>。20 世纪 60~70 年代“以粮为纲”时期、80~90 年代改革开放初期的大规模围海造地活动使该区尤其是珠江口地区海岸线快速向南海推进（表 5），全区向海推进面积增加 619.23 km<sup>2</sup>，其中珠江口地段向海增加 552.95km<sup>2</sup>。海岸滩涂上城建面积 1986 年为 4.625 km<sup>2</sup>，至 2000 年城建面积迅速扩大为 51.585 km<sup>2</sup>；2000 年农田面积与 1986 年基本持平，为 250.00 km<sup>2</sup>左右<sup>①</sup>。目前横门外中山市境内已围垦至二十三涌、番禺区境内已围垦至二十一涌，珠海市斗门区白藤湖围垦后导致泥湾门被封闭，珠海三灶岛、大横琴岛等岛屿已

① 广东省地质调查院，中山大学地球与环境科学学院遥感应用中心，广东省海岸带遥感综合调查报告，2002. 57~58.

与内陆连接成片。以遥感解译为手段，并在GIS平台上对1973年、1990年、2002年的海岸线进行叠合对比和空间分析，获得了三十年来珠江三角洲经济区海岸变迁的数据信息，表明伶仃洋东西两岸、磨刀门附近、黄茅海东西两岸、广海湾北部岸带、镇海湾北东部岸带为海岸变迁的突出地段（图9），尤以虎门至横门、磨刀门至平沙农场最为典型<sup>①</sup>。

表5 虎门至横门与灯笼沙至平沙农场海岸线向海推进的速率（单位：m/a）

时段 地段	1973~1990年	1990~2002年	备注
万顷沙	514.7	291.6	推进方向为南东向
龙穴岛	303.9	583.3	推进方向为南东向
横门岛	225.5	527.8	推进方向为南东向
灯笼沙	250.0	770.8	推进方向为南东向
平沙农场	58.8~102.9	270.8~416.7	推进方向为南西向

海岸变迁导致陆地扩展与水域萎缩、淤积空间格局改变、湿地生态破坏而生态环境恶化、三角洲腹地洪涝灾害风险增大、水质性缺水形势的加剧以及不利于城市化与经济负面的影响<sup>②</sup>。围堤束水和围海造地的影响日趋增大，每年来自珠江上游8000多万m<sup>3</sup>的泥砂，约有20%沉积于网河区河道内而使河道淤浅；其余80%达到珠江口与外海滨，使口门附近淤高约7~17cm/a。广州港、黄埔港等港口航道均存在不同程度的淤积。广州港淤积最严重，最大回淤厚度达1.0m/a，一般为0.5m/a，使得港口疏浚挖泥120万m<sup>3</sup>/a。伶仃洋在未来150~200a内可能会被淤成伶仃河，届时广州水位将由现在的2.0m升至5.0m<sup>③</sup>。黄镇国等预测，广东沿海海平面至2030年将上升30cm，根据国家海洋信息中心估算，海平面上升30cm，最高潮位可使该区1154km<sup>2</sup>的沿岸区域与岛屿淹没<sup>④</sup>。与人类活动密切相关的海岸异常变迁使珠江河床淤浅、上游水位抬升、加上潮水上溯造成河道污水滞流而加重水土污染。若叠加海平面上升的影响，这些问题的存在与加剧正日益成为城市发展的限制因素。

### 3.3.3 隐伏岩溶塌陷

深圳市龙岗—坑梓—坪地一带、广花盆地、增城市派潭、肇庆市区、江门市台山等地隐伏岩溶发育，成为城市拓展的重要地质环境约束，在地下水采、排等人类活动驱动下往往发生地面塌陷。近年来，广花盆地已发生15处隐伏岩溶塌陷，并伴生周围民房开裂、水井干涸及其它环境地质问题。由于花都区赤坭镇蓝田采石场大量疏干排水，导致中洞村一鱼塘蓄水漏干，200多户民房不同程度开裂，部分房室内地面陷落形成大坑，受威胁人口达600人<sup>⑤</sup>。据不完全统计，广花盆地岩溶塌陷所造成的经济损失超过千万元。自1986年来，深圳市龙岗—坑梓—坪地一带发生了25处隐伏岩溶塌陷。

### 2.3.4 崩塌、滑坡

由于地质环境脆弱因素的存在、降雨量大且集中，人类活动叠加作用，使得无论在山区、平原或平原区上的残丘，每逢雨季崩塌、滑坡等突发性地质灾害时有发生，其特点是发生频率高、规模小、危害大。

惠东东北部及花都北、从化、深圳等地低山—丘陵山区地形标高较大的陡坡常崩塌，多沿变质岩片状结构面、碎屑岩软硬相间岩层的软弱层面产生顺层滑动，块状岩类则多在残积土与母岩接触面发生，典型的例子如2002年9月18日发生于深圳特区梅林边防检查站附近的山体滑坡便属此列。江、河、海、湖、库的边岸由于水动力作用导致崩塌—滑坡，典型的例子如2003年10月31日肇庆市高要绿步的西江塌岸。人工边坡包括以依山开发建设场地边坡、修筑道路的路堑边坡地带易发规模较小但灾害较为严重的崩塌、滑坡，以2003年5月5日深圳市宝安区

① 支兵发. 珠江三角洲经济区海岸变迁的生态地质环境效应. 2005. (已向《地质调查与研究》投稿)

② <http://www.cigem.gov.cn/jcy/homepage/dzzh/zjsjz.htm>

③ <http://nlgeology.51.net/stdz/dz2003-01.htm>

④ <http://www.southcn.com/news/gdnews/gdtodayimportant/200208020005.htm>

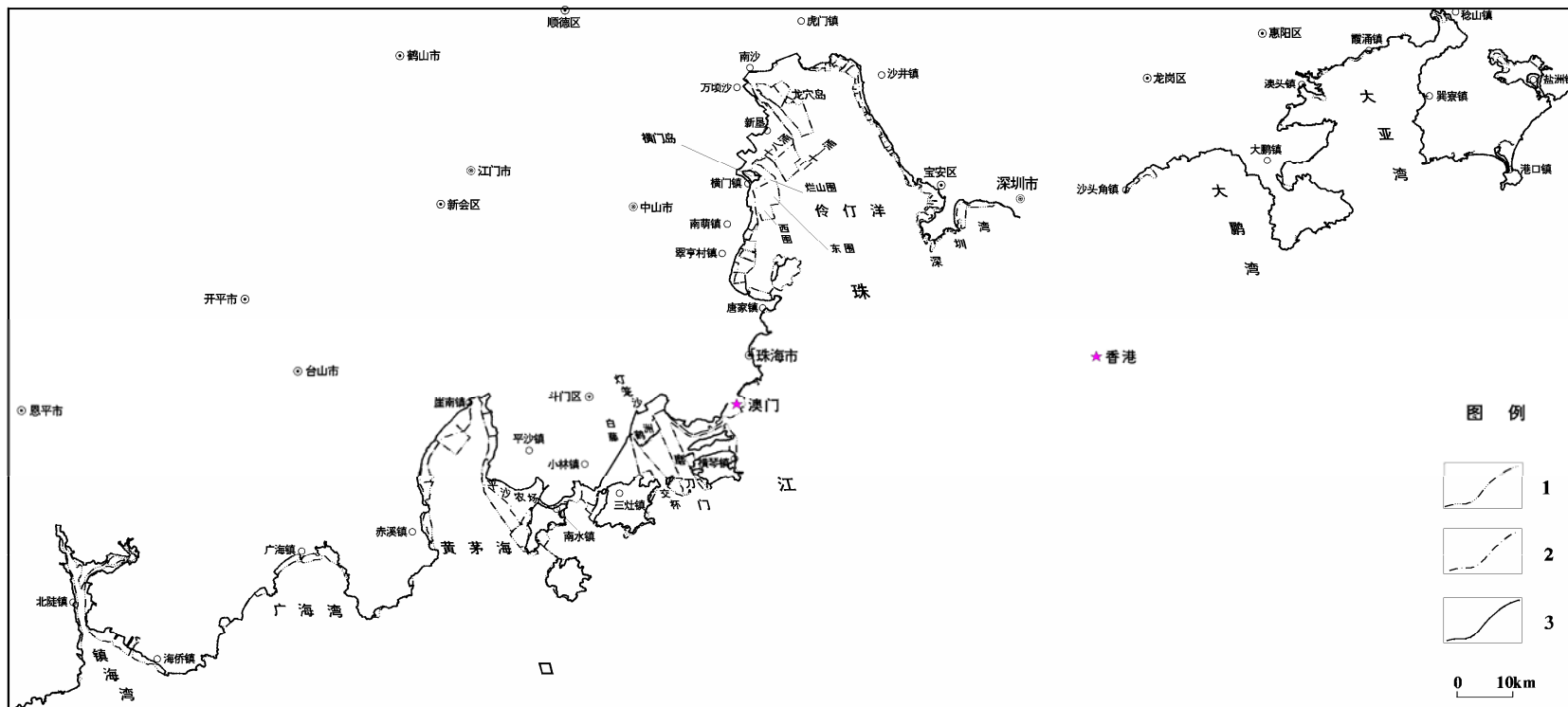


图 9 1973、1990、2002 年三个时相遥感解译得到的珠江三角洲经济区海岸变迁

图例说明：1. 2002 年海岸线；2. 1990 年海岸线；3. 1973 年海岸线

石岩镇料村顺兴工业区场地边坡崩塌最为典型。

## 4 策略建议

珠江三角洲经济区环境地质问题是泛都市化趋势下人—地—生相互关系失调的反映。可持续城市化的关键之一在于科学利用环境资源，降低环境地质问题（包括地质灾害）的风险。

从珠江三角洲经济区目前的情况来看，一方面城市化决策与实践中忽视了城市地学成果在城市规划与建设的应用，另一方面缺乏系统的城市地学工作为城市化决策与实践提供科学的依据。若这一状况仍然维持下去，则将使环境地质问题日趋严重，产生恶性循环，可持续城市化将受到严重阻碍。

### 4.1 系统展开支撑社会经济可持续发展的城市地学工作

建议尽快系统地开展以环境地质为主体的城市地学工作，并将城市地学落实到基础地质调查、主题环境地质填图评价、专门环境地质区划以及信息综合集成等四个层面上进行。

近五十年来，覆盖或部分覆盖珠江三角洲经济区的 1:50 万~1:2.5 万地质调查工作积累了较为丰富的区域性地质资料。这些工作或比例尺小，或未覆盖全区，使得现有地质资料不够系统、针对性不够强。在这些工作的基础上，开展相应的大比例尺基础地质调查，寻找基础地质调查与主题环境地质填图评价、专门环境地质区划的结合点，是该区城市地学工作的关键。

基础地质调查以挖掘、采集城市与潜在城市化地区的地质环境背景信息为目标。地层、地质构造、侵入岩、火山岩、变质岩等传统工作内容以编为主，顺德市、番禺县、新桥镇等近 40 个图幅 1:5 万区调未覆盖的地区加强控制性实测工作。强调充分挖掘、采集城市与潜在都市化区环境意义明显的地质体特征参数信息，厘定活动断裂、软弱岩土层等地质脆弱因素，掌握基岩起伏、埋深、松散覆盖层性状。突出反映地质作用过程的现象调查，重视小时空尺度地质地貌现象的解剖，重塑地貌形成演化史，恢复距今 5000 年以来古地理、古气候、古环境变迁史。

主题环境地质填图评价以揭示快速城市进程面临的人口、资源、环境问题，提出策略建议为目标。在二次开发总体把握资源与环境地质问题的基础上，填图重点针对城市与潜在都市化区地面形变、固体废弃物安全地质处置、水资源三个方面。

地面形变内容主要包括区域构造稳定性、城市地貌格局变迁、软土区地面形变、岩溶塌陷、海岸变迁，还包括崩塌、滑坡、泥石流与水土流失。各地市不同地段有所侧重，其中珠江口地区为工作重点地区。以广州为例，北部地区填图主要针对隐伏岩溶区地面形变，中心城区填图主要针对地下空间开发安全性与城市地貌格局变迁，南部填图主要针对软土区地面形变及海岸变迁。

在平原区外围的丘陵、低山区，开展以圈定潜在的固体废弃物安全地质处置场地为目标的环境地质填图，以应对人口聚集、工业聚集加速导致的固体废弃物日益增多并衍生环境污染的问题。

水资源填图评价内容涵盖地表水系统、地下水系统资源的质量、数量、分布、历史、现状、潜力，圈定城市后备水源地，以制订水资源调控策略。

专门环境地质区划侧重在系统理论指导下，综合应用软、硬科学技术手段，建立城市地质灾害（如水土污染、城市洪涝等）风险评价（包括社会易损性与经济易损性评价）指标体系，进行灾害风险区划；建立土地利用性评价指标体系，进行土地利用区划。

信息综合集成成为社会服务，要在成果表达方面有所创新，不仅要提交主题明确、通俗易懂的成果图件与文字报告，而且要搭建城市环境地质数据管理信息系统，建立城市地质灾害预警体系与地质环境管理决策支持系统。

### 4.2 强化城市地学工作的服务功能

应加强地质部门与城市规划、建设部门的沟通与合作，开展城市地学科普工作，提高地学工作的重要性，从而增强城市地学成果的服务功能，为决策（规划、管理）部门提供城市拓展范围、空间的地质环境信息（包括土地可利用性、地质环境脆弱性、地质环境容量等），城市安全保障、人地生相协调的可持续发展的策略建议以及决策地学支持；为城市建设部门提供岩土工程地质参数信息、城市环境地质问题（含城市地质灾害）发生规律、趋利避害的对策建议；要为广大城乡居民提供环境地质信息，搭建深入认识和了解地质环境与环境地质问题的系统平



台(表6)。

表6 城市地学工作面向对象与服务目标

	面向对象	服务目标
决策层面	决策(规划、管理)部门	战略性决策地学支持
执行层面	城市建设部门	城市建设的对策服务
基础层面	广大城乡居民	基础性城市地质环境信息服务

## 5 结论

珠江三角洲经济区地处地质环境的过渡带和敏感带,地质环境脆弱。在泛都市化趋势下,人类经济—工程活动对地质环境的影响将趋增大,环境地质问题日益成为该区社会经济可持续发展的制约因素。

珠江三角洲经济区环境地质问题是泛都市化趋势下人—地—生相互关系失调的反映。对社会经济可持续发展具有不同程度影响的环境地质问题主要有软基沉降,海岸变迁衍生的港口、河道、口门淤积与城市洪涝,水土污染,水质性缺水,资源性缺水,构造稳定,隐伏岩溶塌陷,自然水土流失、人为水土流失以及崩塌、滑坡、泥石流。从成因角度可将这些问题划分为原生为主型、次生为主型、原生与次生结合型三类,其中构造稳定性、资源性缺水、泥石流自然水土流失属原生为主型环境地质问题;水土污染、水质性缺水、人为水土流失属次生为主型环境地质问题;软基沉降,海岸变迁衍生的港口、河道、口门淤积与城市洪涝,隐伏岩溶塌陷、崩塌、滑坡属原生与次生结合型环境地质问题。

可持续城市化的关键之一在于科学利用环境资源,降低环境地质问题(包括地质灾害)的风险。鉴于城市化决策与实践忽视城市地学工作成果的应用以及城市地学工作系统性不足,建议尽快系统地开展以环境地质为主体的城市地学工作,并加强地质部门与城市规划、建设部门之间的沟通与合作以及城市地学科普工作,提高人们对地学工作的重要性认识,以增强城市地学成果的社会服务功能。

## 参考文献:

- [1]黄德发,张汉昌.创新珠三角:兼与长江三角洲比较[A].见:广东省统计局编.广东统计年鉴(2001)[C].北京:中国统计出版社.2001.34~52.
- [2]支兵发.影响珠江三角洲可持续城市化的若干环境地质问题[J].地质通报.2005(6)(出版中).
- [3]黄德发,冯位东,苏华宏.劳动力聚集与广东城市化道路选择[A].见:广东省统计局编.广东统计年鉴(2001)[C].北京:中国统计出版社.2001.53~70.
- [4]谢守红.珠江三角洲资源、环境与可持续发展对策[J].国土与自然资源研究.2003,4:41~43.
- [5]广东省地质矿产局.广东省区域地质志[M].1988.744~781.
- [6]周燕遐.珠江口及邻近海域水质状况分析[J].海洋通报.1994,13(3):24~30.
- [7]黄爱珠,郭建中.珠江口门好氧有机物的污染趋势分析[J].水资源保护.1994,(4):46~51,51
- [8]钱宏林,梁松.珠江口及其邻近海域赤潮的研究[J].海洋环境科学.1999,18(3):69~74.
- [9]林洪瑛,韩舞鹰.珠江口伶仃洋枯水期十年前后的水质状况与评价[J].海洋环境科学.2001,20(2):28~31.
- [10]刘芳文,颜文.珠江口及其邻近水域的化学污染研究进展[J].海洋科学.2002,26(6):27~30.
- [11]贾国东,彭平安,傅家谟.珠江口近百年来富营养化加剧的沉积记录[J].第四纪研究.2002,22(2):158~165.
- [12]刘芳文,颜文,王文质,等.珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J].海洋环境科学.2002,21(3):34~38.
- [13]彭晓彤,周怀阳,翁焕新,等.珠江口沉积柱重金属V,Ni和Co分布特征、迁移机制和污染评价[J].浙江大学学报(理工版).2003,30(1):103~108.
- [14]刘文新,李向东.珠江口沉积物中痕量金属富集研究[J].环境科学学报.2003,23(3):338~344.
- [15]张祖麟,陈宗团,徐立,等.珠江口外伶仃洋的现代沉积速率及重金属污染[J].海洋通报.1998,17(3):53~57.
- [16]黄良民,陈清潮,尹健强,等.珠江口及邻近海域环境动态与基础生物结构初探[J].海洋环境科学.

- 1997, 16(3): 1~7.
- [17]许振成. 珠江口海域环境及其综合治理问题辨析[J]. 热带海洋学报. 2003, 22(6): 88~93.
- [18]蔡福龙, 林志锋, 陈英, 等. 热带海洋环境中 BHC 和 DDT 的行为特征研究 I. 中国珠江口区旱季 BHC 和 DDT 的含量与分布[J]. 海洋环境科学. 1997, 16(2): 9~14.
- [19]蔡福龙, 林志锋, 陈英, 等. 热带海洋环境中 BHC 和 DDT 的行为特征研究 II. 中国珠江口区雨季 BHC 和 DDT 的含量与分布[J]. 海洋环境科学. 1998, 17(2): 1~7.
- [20]贾晓平, 林钦, 吕晓谕. 珠江口沙井水域及牡蛎体中石油烃的含量、组成及其变化特点[J]. 中国水产科学. 1994, 1(1): 48~54.
- [21]Zheng, G. Time trend of BCTs and DDTs in a sedimentary core in Macao Estuary, Southern China[J]. Marine Pollution Bulletin. 1999, 39: 376~382.
- [22]Li, X. D., Mai, B. X., Zhang G., et al.. Distribution of organochlorine pesticides in a sediment profile of the Pearl River Estuary[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2001, 67: 871~880.
- [23]Jia Guo-Dong, Peng Ping-An. Temporal and spatial variations in signatures of sedimented organic matter in Lingding Bay (Pearl Estuary), southern China[J]. Marine Chemistry. 2003, 82: 47~54.
- [24]杨燕红, 盛国英, 傅家谟, 等. 珠江三角洲一些城市水体中微量有机氯化化合物的初步分析[J]. 环境科学学报. 1996, 16(1): 59~65.
- [25]杨燕红, 盛国英, 傅家谟, 等. 珠江三角洲一些城市水体中微量有机污染物的初步研究[J]. 环境科学学报. 1998, 18(3): 271~277.
- [26]康跃惠. 珠江三角洲一些水体沉积物中毒害有机污染污染物分析及分布特征研究. 博士学位论文. 中国科学院广州地球化学研究所. 2000.
- [27]麦碧娴, 林峥, 张干, 等. 珠江三角洲河流和珠江口表层沉积物中毒害有机物研究—多环芳烃和有机氯农药的分布及特征[J]. 环境科学学报. 2000, 20(2): 192~197.
- [28]麦碧娴, 林峥, 张干, 等. 珠江三角洲沉积物中毒害有机物的污染现状及评价[J]. 环境科学研究. 2001, 14(1): 19~23.
- [29]Yang, Y. H., Sheng, G. Y., Fu, Jiamo, et al.. Organo-chlorinated compounds in waters of Pearl River Delta region[J]. Environmental Monitoring and Assessment. 1997, 44: 569~575.
- [30]Fu, J., Wang, Z., Mai, B., et al.. Field monitoring of toxic organic pollution in the sediments of Pearl River Estuary and its tributaries[J]. Water Science and Technology. 2001, 43(2): 83~89.
- [31]Mai Bixian, Fu Jiamo, Zhang Gan, et al.. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Pearl river and estuary, China: spatial and temporal distribution and sources[J]. Applied Geochemistry. 2001, 16: 1429~1445.
- [32]Zhang Gan, Parker Andrew, House Alan, et al.. Sedimentary records of DDT and HCH in the Pearl river Delta, South China[J]. Environmental Science and Technology. 2002, 36~3671~3677.
- [33]Mai Bixian, Fu Jiamo, Sheng Guoying, et al.. Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuary sediments from the Pearl River Delta, China[J]. Environmental pollution. 2002, 117: 457~474.
- [34]Zhang, G., Yan, J., Fu, J., et al.. Butyltins in sediments and biota from Pearl River Delta, South China[J]. Chemical Speciation and bioavailability. 2003, 14: 35~42.
- [35]Zhang, G., Qi, S., Parker, A., et al.. Distribution of organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from the Pearl River Delta, South China[J]. Abstract on the 3rd Asia-pacific Symposium on Environmental Geochemistry, Guangzhou China. 2001. p. 93.
- [36]Fu Jiamo, Mai Bixian, Sheng Guoying, et al.. Persistent organic pollutions in environment of the Pearl River Delta, China: an overview[J]. Chemosphere, 2003, 52: 1411~1422.
- [37]中国科学院地学部. 东南沿海经济快速发展地区环境污染及其治理对策[J]. 地球科学进展. 2003, 18(4): 493~496.
- [38]黄镇国, 李平日, 张仲英, 等. 珠江三角洲形成发育演变[M]. 广州: 科学普及出版社广州分社. 1982. 1~274.