

珠江三角洲环境地质分区及其特征^{*}

汤连生¹, 廖化荣¹, 廖志强¹, 万军伟²

(1. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275;

2. 中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 依据珠江三角洲的地质环境及气候条件, 结合地质环境质量及已知的主要地质灾害类型的组合和灾害的发育程度, 建立数学模型, 综合考虑环境质量及地质灾害分布的共同影响, 对珠江三角洲的地质环境进行分区评价, 把珠江三角洲划分为: I、西部山地丘陵中灾害地质环境质量良好区, II、东北部平原丘陵中灾区地质环境质量中等区, III、中部三角洲平原弱灾害地质环境质量差区和 IV、南部丘陵重灾害地质环境质量中等区四个区, 并对每个分区的环境地质特征进行了阐述, 为珠江三角洲的环境地质问题的预测和治理、合理开发和利用资源, 对地质灾害的预报和预防以及社会经济发展提供服务。

关键词: 珠江三角洲; 地质环境; 灾害; 分区; 特征

中图分类号: X141 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0229-05

珠江三角洲地处平原区, 是世界上最复杂的三角洲之一, 也是华南沿海经济发展最快的地区。该区地质构造复杂, 自然环境极其敏感和脆弱; 人口密集, 经济发展迅速, 基础工程建设和城市化进程的加快以及资源开采的加剧等所引起的地质环境恶化和激发问题日益突出, 已经影响到国民经济的持续稳定发展, 给人民生活 and 工农业建设带来了严重威胁或危害^[1]。因此, 研究珠江三角洲的环境地质及其相应特征, 对其进行分区, 可以为珠江三角洲的环境地质分区管理、环境工程地质问题及灾害的预测与防治提供重要的依据, 是开展环境工作和地质工作的重要前提, 是环境目标管理和城市规划等的基本依据, 也是该区可持续发展必须解决的关键问题^[2]。

1 珠江三角洲地质环境及气候条件

珠江三角洲的基底由多断块组成^[3,4], 面积约 18 000 km²。该区地质活动主要以大面积间歇性升降和断块差异运动为特点, 其周界均以断裂为界, 内部还发育不同方向的次级断裂相互交切。三角洲总体呈 NW 向长方形展布。

珠江三角洲的第四纪沉积从晚更新世晚期开始, 沉积相可分为: 下部更新世三角洲沉积前的古河流相砂砾层, 该层直接覆盖在基岩风化壳之上,

其上有一层花斑状粘土, 代表一种沉积间断的风化作用; 中部, 早—中全新世陆相过渡到三角洲浅海相薄层中细砂、粉砂及厚层灰黑色淤泥层; 上部, 晚全新世泛滥平原和三角洲相砂质粘土, 粉细砂层。本区内的地壳运动继续着以前的断块运动特征, 除表现为边缘断块及五桂山断块的隆起和三角洲腹心的下沉外, 还有由东西两侧向三角洲中心的挠曲, 导致地震集中在西江断裂以东的断裂和断陷区内。环境地质灾害的形成与发育与气候条件密切相关。珠江三角洲地形气候温暖潮湿, 属南亚热带季风气候, 年平均气温为 21.7~22.6℃, 年平均降雨量为 1 714~1 944 mm, 雨量充沛, 暴雨、洪水、风暴是该区地质灾害形成与发育的主要影响因素。

2 主要地质环境灾害

珠江三角洲的地质灾害的形成与分布主要受地质环境的制约。该区内主要的环境地质灾害有: 活动断裂、地震、崩塌、滑坡、地面沉降、地面塌陷、地基下沉、地裂缝、港口淤积、水质污染、水土流失等。

2.1 活动断裂

珠江三角洲主要发育 NE、NW 和 EW 向三组断裂, 不同方向的各组断裂按规模大小、切割程度、

* 收稿日期: 2004-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50279056, 59779019); 广东省自然科学基金资助项目 (031601); 广东省科技计划重点资助项目 (2003C33301)

作者简介: 汤连生 (1963年生), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: eestls@zsu.edu.cn

地貌反差及地震强度分属于强、中、弱三种活动类型^[3]，其中NW向和EW向断裂贯穿全区，是该区边界的主要断裂（如图1^[9]）。

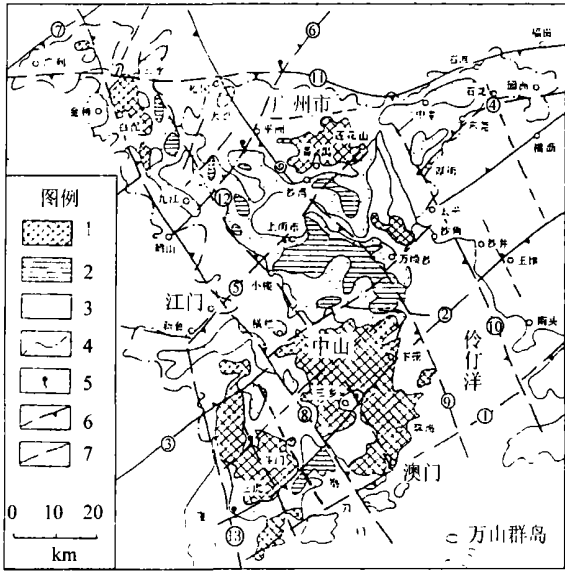


图 1 珠江三角洲活动断裂分布图^[9]

Fig 1 Distribution of active faults in the Pearl River Delta^[9]

- 1. 低丘、台地；2. 第四纪（厚度>40 m）；
- 3. 第四纪（厚度25~40 m）；4. 三角洲界限；
- 5. 温泉；6. 弱活动断裂；7. 微活动断裂；
- ①深圳断裂；②平沙断裂；③横沥断裂；④东莞断裂；
- ⑤新会断裂；⑥广从断裂；⑦鼎湖—北江断裂；
- ⑧西江断裂；⑨沙湾断裂；⑩沙角断裂；
- ⑪罗浮山断裂；⑫三水—小榄断裂；⑬崖门断裂

2.2 地震活动

珠江三角洲的地震活动南强北弱，自东向西又自西向东多次往返，主要分布于三角洲边缘及三角洲沉降区内，以三水—磨刀门一线最明显。该区内地震活动频繁，震级低，具有周期性。本区共发生≥4.8级地震8次，最大震级5.5级，在广州—番禺一线也有较多地震发生。

2.3 崩塌及滑坡

本区往往出现在水土流失严重区，主要发生在三角洲西部边缘、西北部边缘、近岸岛屿及五桂山断隆、珠海断隆等地带。在暴雨或持续性降水期间^[9]，形成的地表水入渗斜坡土体后，往往降低了土体的抗剪强度，引起斜坡失稳破坏。

滑坡几乎均出现在降水高峰期后，主要发生于人工切坡、爆破及地震活动区。滑坡往往破坏性较大，多为高速剧冲式，个别呈现多期滑动的特点，如广州白云山发生的滑坡，就是比较典型的例子。

2.4 地面沉降

珠江三角洲广泛发育松散和饱水的第四纪堆积

物，因过度开采地下水以及沉积压缩，造成地面沉降，形成碟形洼地，给生产和施工带来极大危害。

2.5 地面塌陷

广州以北为大片石炭系灰岩分布区，石灰岩一般埋藏较浅，约10 m左右，广花盆地中部灰岩溶洞发育，又是地下水集中开采区，导致地面下沉。地裂缝及地表塌陷，地表水、孔隙水与溶洞水相通，造成水资源严重污染。据1984—1987年长期调查的结果^[3]，上述地区有540多间房屋发生不同程度的开裂或损坏。

2.6 软土地基与地基下沉

珠江三角洲软土地基主要分布在三角洲前缘和中部广州—古劳一线以南地表，以海相淤泥层为主，多呈流塑状，高压缩性、低承载力，易触变，是引起地基下沉的主要因素，也是许多高层建筑修建时必须考虑的因素。

2.7 冲淤积

珠江三角洲水系发育，河床淤浅，珠江带来的大量泥沙在各口门形成高速率的淤积区，以珠江口、伶仃洋西岸最为显著。河口淤积使排洪、泄洪及航运能力减弱，造成水灾和内涝。广州港、黄浦港及佛山、江门、中山、顺德、三水、东莞等港口航道均存在不同程度淤积^[9]。

3 环境分区的原则与方法

在此之前，已经有许多学者对地质环境分区进行过详细研究，提出了各种地质环境分区的原则和方法，主要有：运用综合分析和人工判别，GIS，模糊数学和灾害密度^[7]，模糊灰色聚类，多元统计判别，因素比较法，质量系数法，决策支持系数，神经网络，专家系统^[8,9]等，但他们大部分是从单一因素或单方面研究环境地质问题，把环境因素和地质因素分开讨论，并进行独立评价。地质环境是一个动态的平衡系统，各因素之间是相互影响和制约的，是一个人一自然的复合系统，其分区是受各种因素综合影响的，因此，分区过程中必须综合考虑环境因素和地质因素的影响。本文首先建立数学模型，再依据灾害度的概念，结合地质环境质量以及已知的主要地质灾害类型的组合和灾害发育的程度，并根据孙广忠^[10]提出的地质环境综合评价原则，即：① 应有评价要素；② 依据人口、资源、环境三者之间的协调发展建立合理评价标准；③ 遵循由单因素到多因素、由局部到整体的原则；先评价单因素对评价目的的适宜程度，再综合评价整体的适宜程度。

综合以上各因素对珠江三角洲进行地质环境分

区及评价。

4 地质环境分区及各分区特征

珠江三角洲受上述单因素环境地质灾害的综合影响，给社会经济的发展 and 人民的生命财产安全带来极大危害，必须进行预测和治理。由于影响因素的复杂性和不确定性以及人们主观认识的差异，对该区进行地质环境综合评价比较困难，因此，本文建立了数学模型，结合该区的 GIS 资料以及工程地质、环境地质综合详查的有关成果，对该区进行环境地质分区。

4.1 评价模型

首先确定综合评价指标：

$$K = (S_1, S_2, S_3, \cdots, S_m; U_1, U_2, U_3, \cdots, U_n)$$

式中， K 为地质环境综合评价指标， $S_1, S_2, S_3, \cdots, S_m$ 为环境质量评价等级， $U_1, U_2, U_3, \cdots, U_n$ 为地质灾害评价等级。上式可简化为：

$$K = S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_m + U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

其中环境质量指标是经过聚类分析并进行离散数据转换后，采用缩小绝对值变量的方法^[11] ($\hat{x}_i = x_i / c$ ，其中 c 为常数)，使不同量纲的变量具有相同的数值大小，具有可比性和等效性。本文选取 10 个具有代表性的环境质量指标进行分析，包括断层活动、震级、基本烈度、坡度、承载力、场地地震效应、地下淡水资源储备、地下水埋深、水质污染、建材资源，根据对这些指标的统计分析，分为良好、中等、差三个等级（见表 2 分级评价标准）。地质灾害评价指标包括地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地面塌陷、地基下沉、地裂缝、港口淤积、水土流失，以“灾害密度”和“灾害强度”作为评价标准（灾害密度是指某一灾害区平均每 100 km² 已知的灾害点数；灾害强度指水土流失面积占该区总面积的百分比），并用 GIS 资料对评价指标进行统计分析^[7]，分为重灾害区、中灾害区和弱灾害区 3 个等级（见表 3 注的评价标准）。

4.2 分区评价及各分区特征

根据以上模型，把珠江三角洲分为 4 个区（见图 2；各区的环境质量评价指标和地质灾害评价指标以及评价标准见表 1—3），即：

- I. 西部山地丘陵中灾害地质环境质量良好区；
- II. 东北部平原丘陵中灾害地质环境质量中等区；
- III. 中部三角洲平原弱灾害地质环境质量差区；
- IV. 南部丘陵重灾害地质环境质量中等区。

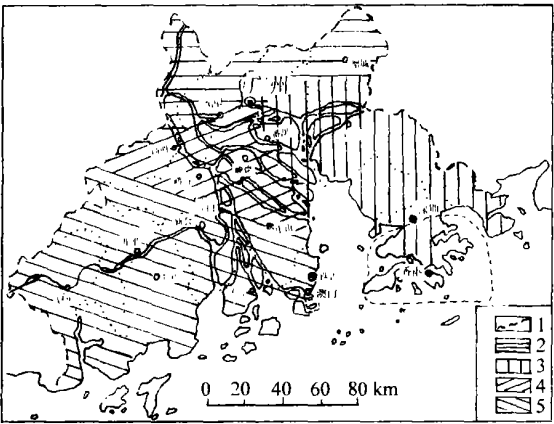


图 2 珠江三角洲环境地质分区图

Fig 2 The geological environment zones in the Pearl River Delta
1. 三角洲界限；2. I 区；3. II 区；4. III 区；5. IV 区

各区的主要特征分述如下：

I、西部山地丘陵中灾害地质环境质量良好区：地处广州—佛山—一线以西地区。该区内地震活动较弱，震级较低，烈度较小，断裂活动较弱，区域稳定性较好。该区属河流冲积松软土区，冲、淤积较厚，有较厚的软土层；岩溶较发育，地面塌陷、地基下沉、崩塌和滑坡等现象较为严重；地面沉降速度中等。

II、东北部平原丘陵中灾害地质环境质量中等区：地处广州—番禺—万顷沙—一线以东、以北。该区内地震活动微弱，震级低，烈度小，断裂活动中等，区域稳定性好。该区属溺谷冲海积软土区，少量冲、淤积，薄层软土，具有高压缩性、低承载力的特点；岩溶发育，地表较多塌陷；地面沉降速度较慢。该区内断块较发育，断裂活动中等。

III、中部三角洲平原弱灾害地质环境质量差区：该区的范围是除 I、II、IV 以外的地区。该区内断块发育，断裂活动弱—中等，地震较频繁，震级较小，烈度不大，大震少，小震多；断块升降幅度不大，区域稳定性较好。该区也属溺谷冲海积软土区，冲、淤积较厚，软土地层也较厚，高压缩性，低承载力；地下水位埋藏浅；由于该区内地下水资源的过度开采，以及发育的岩溶，使得地面塌陷、地基下沉现象严重。该区属经济发展快速、人口高度密集区，人为破坏所引起的环境地质问题越来越多且日益严重，在一定程度上已经可与自然因素相提并论。

IV、南部丘陵重灾害地质环境质量中等区：该区地处江门—中山—一线以南。地震活动频繁，断块活动强烈，地震震级相对较高，烈度较大，多小震，时有大震；断块总体隆起，局部下陷，地面沉

降速度较快, 区域较不稳定。该区为滨海海积软土区, 有很厚的软土层及厚层的冲、淤积, 河口高速堆积。岩溶较发育, 大部分地区发生地面塌陷。

5 结束语

珠江三角洲的地质环境复杂, 灾害频繁, 城市人口稠密, 是我国文化经济最发达的地带之一; 随着社会经济不断发展, 自然环境、经济环境、社会环境以及人类活动之间的相互影响也日益加强。珠江三角洲地区生态环境脆弱且敏感, 环境工程地质问题复杂多样。本文通过数学模型的建立, 综合环境因素和地质因素, 从总体上把珠江三角洲地质环境分成四个区:

I、广州—佛山一线以西的西部山地丘陵中灾害地质环境质量良好区。这个区各种地质灾害相对较少发生, 区域稳定性较好, 环境破坏的程度较

弱。

II、广州—番禺—万顷沙一线以东、以北的东北部平原丘陵中灾区地质环境质量中等区。这个区地质灾害发生程度中等, 环境破坏程度中等。

III、中部三角洲平原弱灾害地质环境质量差区。这个区地质灾害发生程度中等, 区域稳定性较差, 环境破坏程度较大。

IV、江门—中山一线以南南部丘陵重灾害地质环境质量中等区。这个区的区域稳定性较差, 地质灾害频繁, 环境破坏程度中等。

对珠江三角洲地质环境进行上述分区后, 可以对各区内的地质环境灾害进行预测和预报, 并采取有效的防治措施; 还可以使以上各因素进一步协调发展, 更加合理地开发和利用三角洲资源, 其中最重要的就是保护地质环境和减轻地质灾害的损失, 促进珠江三角洲的经济快速稳步向前发展。

表 1 珠江三角洲地质环境质量指标 (无量纲) 及类别判定表

Tah 1 No-dimension indexes and appraisal of the classification of environmental geologic quality in the Pearl River Delta

分区	断层 活动度	震级	基本烈度	坡度	承载力	场地地 震效应	地下水 资源储备	地下水 位埋深	水质污染	建材资源	决策类别
I	5	3	6	7	2.12	4	6	2.1	2	1	良好
II	6	3	6	5	3.63	4	3	1.1	4	3	中等
III	9	4.7	7	4	0.91	7.5	1	0.7	6	2	差
IV	5	4	6	20	6.30	3	2	1.6	2	3	中等

表 2 地质环境质量指标评价表

Tah 2 Appraisal on the indexes of environments geologic quality

评价等级	断层 活动度	震级	基本烈度	坡度	承载力	场地地 震效应	地下水 资源储备	地下水 位埋深	水质污染	建材资源
良好	≤4	≤3	≤6	≤5	≥6	≤2	≥8	2.0	≤1	≥4
中等	约 6	约 4	约 6.5	约 10	约 4	约 4	约 5	约 1.5	约 3	约 3
差	≥8	≥6	≥7	≥20	≤1	≥7	≤1	≤1.0	≤6	≤2

表 3 珠江三角洲各类地质灾害点分布表¹⁾

Tah 3 Distribution of major geological hazards in the Pearl River Delta

分区	灾害 程度	地震	崩塌	滑坡	地面 沉降	地面 塌陷	地基 下沉	地裂缝	港口 淤积	中度水土 流失 /km ²	强度水土 流失 /km ²	灾害 密度	强水土 流失度	总水土 流失度
I	中	1		4						10.19	0	1.29	0.00	2.63
II	中	2	4	4		4	2		1	2.50	0	1.32	0.00	0.10
III	弱	2	3		1		2	1	1	24.65	0	0.14	0.00	0.36
IV	重		9						1	61.49	24.63	0.87	2.14	7.47

1) 表中数据是使用 GIS 系统进行统计分析所得;
①重灾区划分标准: 总水土流失度≥20.0 或灾害密度≥2, 或总水土流失度≥10.0, 灾害密度或强水土流失度≥0.5, 或者总水土流失度≥5.0, 强水土流失度≥1.0, 且灾害密度≥0.5;
②中灾区划分标准: 总水土流失度≥10.0 或灾害密度≥1 或总水土流失度为 2~10.0, 灾害分布密度为 0.25~0.50;
③中灾区划分标准以下为弱灾区标准。

参考文献:

[1] 李相然. 滨海城市工程地质环境类型划分及其特征研究[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(3): 309—314.

[2] 闫满存, 李华梅, 文启忠, 等. 区域地质环境质量评价研究的现状与趋势[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 371—376

[3] 夏法, 黄玉昆, 王建华. 珠江三角洲地质环境与灾害性地质问题[J]. 中山大学学报论丛, 1992(1): 138—146.

[4] 詹文欢, 钟建强. 珠江三角洲地质灾害的模糊综合评价[J]. 热带海洋, 1995, 14(1): 62—69.

[5] 钟建强, 詹文欢, 古森昌, 等. 珠江三角洲区域稳定性的地质环境分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(2): 33—41.

[6] 闫满存, 王光谦, 李保生, 等. 广东沿海陆地主要地质灾害及其控制因素分析[J]. 地质灾害环境保护, 2000, 11(3): 204—211, 229.

[7] 朱照宇, 周厚云, 黄宁生, 等. 广东沿海陆地地质灾害区划[J]. 地球学报, 2001, 22(5): 453—457.

[8] 闫满存, 李华梅, 王光谦. 广东沿海陆地地质环境质量定量评价研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(4): 416—425.

[9] 蔡鹤生, 周爱国, 唐朝晖. 地质环境质量评价中的专家—层次分析定权法[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1998, 23(3): 299—302.

[10] 孙广忠. 地质环境评价理论方法. 环境地质研究(第四辑)[M]. 北京: 地震出版社, 1999: 44—51.

[11] 夏法, 揭明明, 黎志中. 应用灰色系统理论对珠江三角洲地质环境质量分区评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(2): 40—49.

[12] 谢浩球. 广东地质灾害概述[J]. 广东地质, 1991, 6(3): 69—76.

[13] 夏法. 环境地质学与城市地质学基础[M]. 广州: 中山大学出版社, 1997.

[14] 曹康琳, 阎小培. 珠江三角洲生态环境的地域差异及防治重点[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(2): 103—108.

[15] 黄镇国, 等. 珠江三角洲形成发育演化[J]. 广州: 科学普及出版社广州分社, 1982.

[16] 范常忠. 广东省城市生态环境质量评价[D]. 广州: 中山大学地理系, 1994.

[17] 黄玉昆, 夏法, 陈国能, 等. 广东沿岸区域构造稳定性分析及评价[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1986(2): 1—17.

[18] 夏法, 黄玉昆. 广东的地质灾害与地质环境[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(3): 83—91.

[19] 李益湘. 浅论城市工程地质环境质量评价. 环境地质研究(第四辑)[M]. 北京: 地震出版社, 1999: 152—155.

[20] 王思敬, 周平根. 环境地质学的现状及发展方向展望[J]. 工程地质学报, 1995, 3(4): 12—18, 68.

[21] 张人权, 靳孟贵. 略论地质环境系统[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1995, 20(4): 373—377.

[22] 张寿全, 王思敬, 黄巍. 人类活动与中国沿海环境工程地质问题[J]. 地学前缘, 1996, 3(1—2): 69—76.

[23] 阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的作用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 8(1): 89—92.

[24] 李相然. 中国东部沿海城市主要环境工程地质问题及防灾战略研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 1996, 17(2): 57—62.

[25] 闫满存, 王光谦, 李保生. 广东沿海陆地地质灾害及其防治对策[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(4): 85—90.

[26] 詹文欢, 孙宗勋, 朱俊江, 等. 珠江口海岛及海域地质环境与灾害初探[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 31—36.

[27] 毛同夏. 21 世纪初期中国地质环境态势与可持续发展[J]. 水文地质工程地质, 1999, 6: 6—9.

The Geological Environment Zoning and Character
in the Pearl River Delta

TANG Lian sheng¹, LIAO Hua rong¹, LIAO Zhi qiang¹, WAN Jun wei²

(1. Department of Earth Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper discusses the problems of geological environments and climate conditions in the Pearl River Delta. The quality of environments and distribution of the geological calamities are analyzed in detail and synthetically. According to that, the paper builds up a mathematical model. The geological environment zones are established with the aid of the model. The Pearl River Delta is divided into four zones. Then the paper elaborates all the divided zones' geological environment character. Basing on that, it can provide service for forecasting problems of geological environment and bringing the problem under control in the Pearl River Delta.

Key words: Pearl River Delta; geological environment; calamity; divided zones; character