

# 珠江三角洲区域稳定性分区评价 ——引入灰色系统理论

夏 法 揭明明

(中山大学地质学系, 广州 510275)

**摘 要** 将灰色聚类理论应用于珠江三角洲区域稳定性分区评价,建立了灰色系统数学模型.定量分区评价考虑了介质结构、活动断裂、地震、工程地质等因素,共 7 个指标,采用模型运算,将本区划分为稳定、基本稳定及次不稳定 3 个区和 8 个亚区.控制区域稳定性的主要因素是断裂的活动性和断块运动的差异性.

**关键词** 珠江三角洲,区域稳定性,灰色系统,数学模型,分区评价

**分类号** P 642.4

珠江三角洲人口稠密,高层、重型和地下工程建筑密集,原生及次生地质灾害日见突出.该区发育三组不同方向的活动断裂,将基底切割成数个 NE 及 NW 向的断隆区和断陷区.断裂及断块的差异运动直接影响区域稳定性.本文应用灰色系统理论对珠江三角洲区域稳定性进行定量分区评价.为城乡规划、建设与管理,环境保护和地质灾害防治提供科学依据.

## 1 灰色聚类法的评价原理

区域稳定性是指工程建设场区,地壳和表层在地球内外动力地质作用下现今的稳定程度.以往多以定性方法进行评价,近年来,模糊数学的定量研究已引入区域稳定性分区评价中<sup>[1]</sup>.

灰色聚类法是灰色系统理论中用于对系统进行统计分类的方法,是将聚类对象不同聚类指标所拥有的白化数,按灰类进行归纳整理,从而判断聚类对象属于那一类的灰色统计法<sup>[2]</sup>.记 1, 2, 3, … 为聚类对象;  $G_1, G_2, G_3, \dots$  为聚类指标; I, II, III, … 为聚类灰数,即灰类;  $d_{ij}$  为聚类白化数,表示第  $i$  类对象关于第  $j$  类指标的实际样本值.

灰色聚类法的基本步骤为:①给出聚类白化数  $d_{ij}$ ;②确定灰类白化函数  $f_{jk}$ ,为第  $j$  个指标属于第  $k$  灰类的白化函数;③标定聚类权  $\eta_{jk}$ .

$$\eta_{ik} = \lambda_{jk} / \sum_{i=1}^m \lambda_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

其中,  $\lambda_{ik}$  为门限值, 指  $f_{ik} = 1$  和  $f_{ik} \leq 1$  的交点  $d_{ik}$ ; ④ 确定聚类系数,  $\sigma_{ik} = \sum_{j=1}^m f_{jk} d_{ij} \eta_{jk}$  (为第  $i$  个聚类对象对第  $k$  个灰类的聚类系数); ⑤ 构造聚类向量  $\sigma_i = (\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{in})$  ( $n$  为灰类); ⑥ 根据择近原则, 如果  $\sigma_{ik} = \max\{\sigma_{in}\}$ , 则聚类元素属  $k$  灰类。

## 2 灰色聚类法评价数学模型的建立

### 2.1 区域稳定性评价的主要地质要素

以区内断块的展布特征为基础, 结合地质地貌特征, 将珠江三角洲划分为 20 个评价单元(图 1), 并假设各单元对各评价指标为均质体。那么, 聚类元素为: 1, 2, 3, ..., 20。

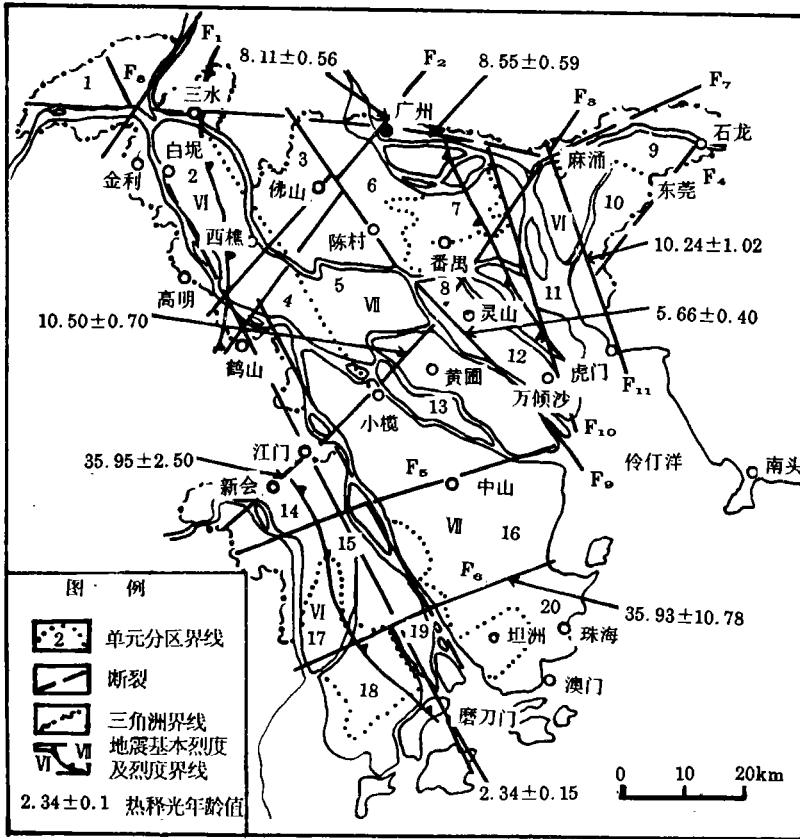


图 1 珠江三角洲区域稳定性评价单元划分图

Fig. 1 Unit division of evaluation on regional stability of the Pearl River Delta

考虑到影响区域稳定性的主要因素及实际资料, 选取最具代表性的 6 个地质要素, 共 7 个指标, 参与区域稳定性评价。

(1) 基底介质结构特征, 记为  $G_1$ 。地质体的结构及岩性组合特征是决定区域稳定性的物质基础, 该区基底介质可分为①花岗岩类, 块状构造, 坚硬, 容许承载力  $R = 855 \sim 2087$  kPa, 软化系数  $Kd = 0.8 \sim 0.98$ , 白化数对应取值 15, 分布于 17~19 评价单元内。②变质岩

类. 片状或块状构造, 主要有片麻岩、石英岩、石英片麻岩, 较坚硬—坚硬,  $R=1261 \text{ kPa}$ ,  $Kd=0.92$ , 白化数 13. 分布于 7, 16, 20 单元内. ③碎屑岩. 中厚层夹薄层构造, 主要为砂岩、凝灰质砂岩、火山角砾岩, 岩石较坚硬—坚硬, 强度略低于变质岩类,  $R=517\sim 1713 \text{ kPa}$ ,  $Kd=0.58\sim 0.98$ , 白化数 8. 分布于 4, 11~13 及 15 单元内. ④红层. 中厚层夹薄层构造, 主要有砂岩、砾岩、泥岩、凝灰质砾岩等, 岩石软弱—较坚硬,  $R=229\sim 605 \text{ kPa}$ ,  $Kd=0.31\sim 0.70$ , 白化数 5. 分布于 1~3, 5, 6, 8~10, 及 14 单元内.

(2) 断裂活动度, 记为  $G_2$ . 断裂的突然运动引发地震, 活动度直接影响断块区域稳定程度. 对工程建设来说, 断烈活动性最主要的是最新活动年代问题. 本文以断裂活动时间为主(见图 1), 结合其规模、差异升降速率以及地貌反差强度<sup>[3,4]</sup>, 把活动度分为强烈、较强、较弱、微弱 4 级. 将其转换成离散数据, 其活动度聚类指标  $G$  分别为 4, 3, 2, 1.

(3) 地震活动——震级与烈度, 分别记为  $G_3, G_4$ . 地震是伴随能量释放的地壳振荡运动, 能量释放是断层突然运动引起的, 本文采用各评价单元的地震强度指标——震级与基本烈度值参与运算<sup>[6]</sup>.

(4) 重力异常梯度值, 记为  $G_5$ . 重力异常是岩石圈物质密度变化的反映, 重力异常梯度大, 标志着地壳深部存在断裂<sup>[5]</sup>. 因此, 异常梯度大是地壳不稳定因素之一. 文中各评价单元重力异常值采用实测值参与运算.

(5) 外动力地质作用, 记为  $G_6$ . 主要是各评价单元外动力引发的地质灾害点的个数, 包括滑坡、崩塌、冲沟、洪积扇、水土流失、台风暴潮、航道及口门淤积等.

(6) 浅层岩土地震效应, 记为  $G_7$ . 地震引起的地面运动, 其破坏强度表现为浅层土的介质效应和地基效应的总和. 该区厚层软土淤泥层分布广泛, 地震时容易产生砂土液化及震陷<sup>[7]</sup>. 根据经验, 将各类浅层岩土地震效应取值为: ①厚层淤泥, 取值 10; ②上部软—可塑粘土, 下部淤泥, 取值 8; ③上部软—可塑粘土, 下部砂, 取值 6; ④上部软—可塑粘土, 下部硬塑粘土, 取值 3; ⑤基岩风化土, 取值 2; ⑥基岩, 取值 0.

## 2.2 数学模型的建立

根据灰色聚类法相关基本步骤的数学模型进行运算(表 1), 得出各评价单元的聚类

表 1 区域稳定性指标无量纲化表

Tab. 1 NO—dimension indexes of regional stability in the Pearl River Delta

评价单元	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$G_1$	7	7	5	8	5	5	13	5	5	5	9	10	10	5	9	13	15	15	15	13
$G_2$	6	4	6	6	9	10	6	9	5	7	8	9	12	7	7	8	4	4	4	3
$G_3$	3	3	5.0	4.8	5.0	4.8	4.5	5.0	3	3	3	4	5.0	4.0	4.0	4.0	3	3	5.5	5.0
$G_4$	6	6	7	6	7	7	7	7	6	6	6	7	7	6.5	6.5	7	6	6	7	7
$G_5$	0	5	15	5	15	5	5	5	10	10	10	0	0	5	0	5	5	0	5	5
$G_6$	4	2	1	1	3	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0	5	0	1	1	2
$G_7$	8	8	7	8	8	8	0	9	8	9	5	9	9	9	8	0	0	0	10	3

白化数. 在考虑介质条件、断块活动、地震强度的基础上,前人曾定性地对本区稳定性划分为两级,即稳定级和基本稳定级<sup>[7]</sup>.

在确定各类指标对各灰类的灰数时,参考了广东核电站选址区域稳定性评价的类似处理的划分方法,按照表 2 的指标评判,定量地将区域稳定性划分为 3 级,即稳定级(I)、基本稳定级(II)和次不稳定级(III),3 个灰类.

表 2 区域稳定性指标评判总表

Tab. 2 Overall appraisal on the indexes of regional stability

典型类别(k)	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$	$G_7$
I	$\geq 12$	$\leq 4$	$\leq 3$	$\leq 6$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\leq 2$
II	8 左右	7 左右	4 左右	6.5 左右	10 左右	3 左右	4 左右
III	$\leq 5$	$\geq 9$	$\geq 5$	$\geq 7$	$\geq 15$	$\geq 4$	$\geq 6$

根据经验判断,各评价指标与稳定性程度呈线性关系,结合给定的聚类白化函数,得出指标白化函数图(图 2). 据此,可以求得各指标对不同灰类的聚类权.

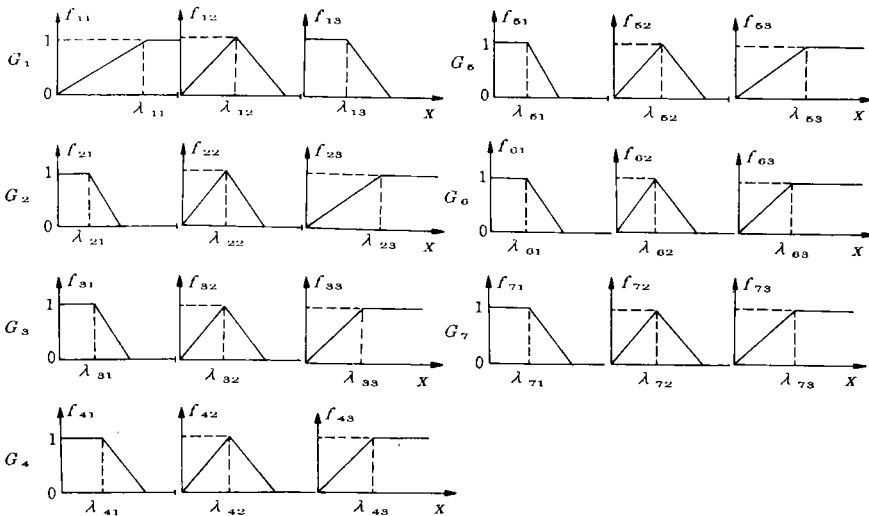


图 2 区域稳定性指标白化函数图

Fig. 2 Whiting function of regional stability indexes

珠江三角洲区域稳定性指标聚类权为: I 灰类,  $G_1$  0.35,  $G_2$  0.12,  $G_3$  0.09,  $G_4$  0.18,  $G_5$  0.15,  $G_6$  0.06,  $G_7$  0.06; II 灰类,  $G_1$  0.19,  $G_2$  0.16,  $G_3$  0.09,  $G_4$  0.16,  $G_5$  0.23,  $G_6$  0.07,  $G_7$  0.09; III 灰类,  $G_1$  0.10,  $G_2$  0.17,  $G_3$  0.10,  $G_4$  0.15,  $G_5$  0.29,  $G_6$  0.08,  $G_7$  0.12.

据此,可求得聚类系数  $\sigma_{ik}$ .

根据择近原则,各评价单元聚类系数最大值所对应灰类为该单元的最佳灰类. 珠江三角洲区域稳定性评价结果见表 3.

表 3 珠江三角洲区域稳定性类别判定表

Tab. 3 Appraisal of the classification for regional stability in the Pearl River Delta

评价单元	I	II	III	决策类别	评价单元	I	II	III	决策类别
1	0.656	0.603	0.466	稳定	11	0.456	0.658	0.584	基本稳定
2	0.879	0.744	0.468	稳定	12	0.567	0.605	0.625	次不稳定
3	0.575	0.722	0.752	次不稳定	13	0.284	0.460	0.509	次不稳定
4	0.681	0.805	0.584	基本稳定	14	0.619	0.690	0.519	基本稳定
5	0.616	0.816	0.910	次不稳定	15	0.535	0.550	0.414	基本稳定
6	0.507	0.626	0.649	次不稳定	16	0.430	0.571	0.517	基本稳定
7	0.518	0.526	0.471	基本稳定	17	0.725	0.551	0.426	稳定
8	0.547	0.687	0.729	次不稳定	18	0.787	0.671	0.522	稳定
9	0.467	0.735	0.613	基本稳定	19	0.543	0.504	0.637	次不稳定
10	0.435	0.765	0.703	基本稳定	20	0.476	0.586	0.613	次不稳定

### 3 区域稳定性分区评价

珠江三角洲区域稳定性划分为稳定、基本稳定和次不稳定 3 级,共分为 3 个区 8 个亚区(图 3).

#### 3.1 稳定区(I 区)

断层活动程度低(活动度参数 $\leq 5$ ),基本烈度 $\leq \text{VI}$ ,历史上无大于 3 级的地震,场地地震效应弱( $\leq 3$ ),最大聚类系数属稳定灰类,系工程建设有利地区.本区分为两个亚区:①西北江河谷平原稳定亚区(Ia),基底介质强度坚硬,第四系厚 20~30 m,由上部软可塑、中部硬可塑和下部砂性土三层结构组成.仅三水—广州断裂有微弱活动;②黄杨山稳定亚区(Ib),基底介质强度坚硬.仅有五桂山南麓断裂穿过,全新世以来基本稳定,局部有水土流失.

#### 3.2 基本稳定区(II 区)

断层活动性较弱(活动度参数 7~8),基本烈度 VI~VII,历史地震 4 级左右,场地地震效应较弱(4~5),最大聚类系数均属基本稳定灰类,系工程建设一般地区.本区共分三个亚区:①西江三角洲中前部基本稳定亚区(IIa),总体强度软弱—较坚硬,第四系厚 20~30 m,九江以北为上部软可塑,下部硬可塑粘土双层结构,以南为上部软可塑粘土,中部淤泥,下部砂三层结构,淤泥层易产生液化震陷;②五桂山基本稳定亚区(IIb),北、西、南部为断裂所围限,但活动性弱.可见滑坡、崩塌、冲沟、洪积扇、水土流失现象;③东江三角洲及市桥隆起基本稳定亚区(IIc),基底介质坚硬—较坚硬;东江三角洲前缘第四系厚约 25 m,上为软塑粘土,下为淤泥双层结构,对工程建设不利.

#### 3.3 次不稳定区(III 区)

断层活动性较强(活动度 $\geq 9$ ),基本烈度 $\geq \text{VI}$ ,历史地震大于 5 级,场地地震效应较强( $\geq 6$ ),最大聚类系数均属次不稳定灰类,系工程建设较不利地区.本区地震较频繁,曾发生大于 4.75 级的破坏性地震.区内广泛分布厚层软土淤泥层,地震易产生砂土液化及震

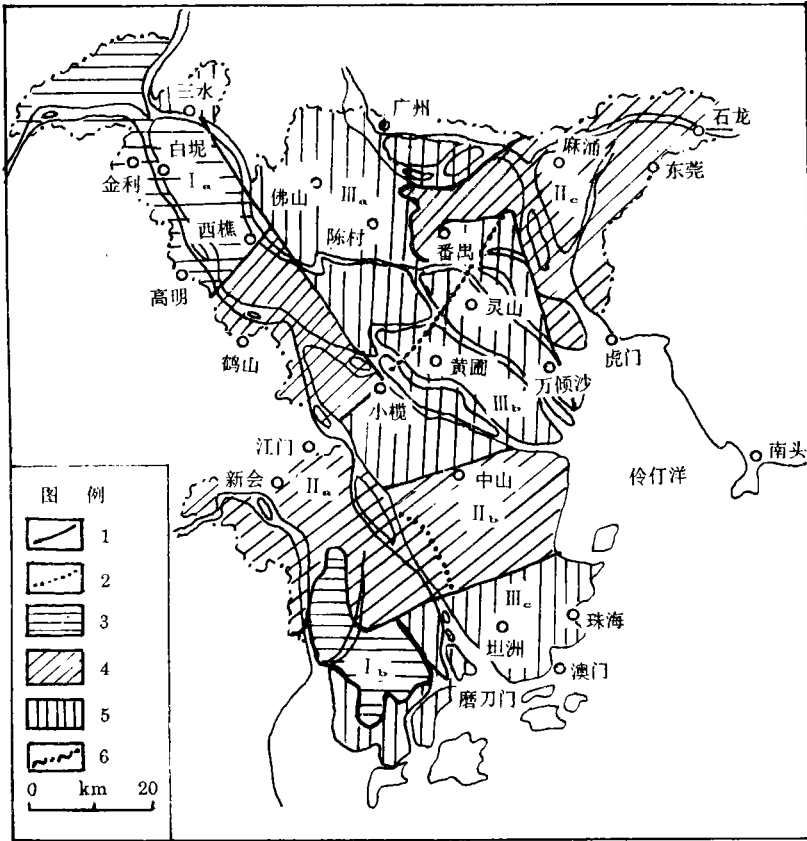


图 3 珠江三角洲区域稳定性分区图

Fig. 3 Zoning map of regional stability in the Pearl River Delta

1 分区界线; 2 亚区符号及界线; 3 稳定区; 4 基本稳定区; 5 次不稳定区; 6 三角洲界线

陷. 本区分三个亚区: ① 珠江三角洲中部断陷次不稳定区(Ⅲ a, Ⅲ b), 基底介质强度属软弱—较坚硬. 市桥—新会断裂以北为 Ⅲ a 区, 为粘土—淤泥—砂土三层结构, 淤泥厚 8~12 m; 以南为 Ⅲ b 区, 第四系厚 30~60 m, 高压缩性淤泥层厚 20~30 m, 极易产生砂土液化, 区内三组不同方向断裂交汇部位地震活动强, 沉积厚度大, 对工程抗震不利. ② 西江三角洲前缘次不稳定亚区(Ⅲ c), 沿海第四系厚 63.3 m, 淤泥层厚 30~40 m, 沉降速率及地震活动在整個珠江三角洲地区最大.

### 参 考 文 献

- 1 殷跃平. 区域稳定性的模糊综合评判——以广东核电站选址为例. 工程勘察, 1985(5): 9~17
- 2 傅立. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科技出版社, 1992. 13~28
- 3 陈国能, 张珂, 贺细坤, 等. 珠江三角洲晚更新世以来的沉积古地理. 第四纪研究, 1994(1): 67~74

- 4 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. 中山大学学报论丛, 1992(1): 138~146
- 5 杨在兹. 从地壳深部构造探讨珠江三角洲的形成. 热带地理, 1983(4): 18~26
- 6 黄玉昆, 夏法. 南海北部沿岸断块区深部构造与地震活动关系. 中山大学学报(自然科学版), 1982(2): 17~25
- 7 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. 中山大学学报(自然科学版), 1986(2): 1~17

## Zoning Evaluation on Regional Stability of the Pearl River Delta by Using the Grey System Theory

*Xia Fa* \*      *Jie Mingming*

**Abstract** Grey system theory has been firstly applied to the zoning evaluation on regional stability of the Pearl River Delta, and a mathematical model of grey system has been established in this paper. Seven indexes, including basement structures, active faults, seismicity, engineering geology, etc, have been taken into account in the model calculation. This region has been divided into stable, basic stable and secondly unstable and eight subzones. It is believed that the dominant factors controlling the regional stability of the Pearl River Delta are the activity of faults and the differences among block-faultings.

**Keywords** Pearl River Delta, regional stability, grey system, mathematical model, zoning evaluation

---

\* Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou 510275