

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

北京地区地震活动与稳定性的 模糊综合评价

黄庆华 马寅生

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京)

宋 新 初

(浙江省地震局, 杭州)



本文讨论了北京地区的地震活动。并应用模糊数学方法、根据区域稳定的影响因素特点将其模糊信息化, 建立了模糊识别模型, 并根据北京地区的地震地质等条件对北京地区区域稳定性作了模糊综合评定。

关键词 模糊数学 区域稳定性 北京

1 区域地质概况

北京地区在漫长的历史时期中, 经历了多次地壳构造运动, 致使该区沉积建造、构造变形变得比较复杂。

1.1 沉积建造 本区最古老的地层为太古宙的黑云母角闪片岩和角闪斜长片麻岩; 最新的为全新世松散碎屑物。区内沉积除缺乏上奥陶统一石炭统、三叠系、上白垩统、古新统外, 自太古宙—第四纪的其它地层均有分布, 而新生代地层主要发育于平原地区和盆地。

1.2 岩浆活动 本区岩浆活动强烈, 岩浆岩分布广, 类型全, 超基性岩—酸性岩均有分布。按其活动程度和规模可分为 5 大期, 以燕山期活动最为强烈、规模最大。

1.3 地质构造 在构造上, 北京地区处于阴山纬向构造体系、祁吕贺山字型东翼反射弧、新华夏构造体系的交接部位^[1]。构造比较复杂, 主要表现为从南到北的大型 FW 向拗褶和呈 NNE—NE、NW 向的弧形复式褶皱、槽地以及一系列的 NNE—NE、NW、EW 及 SN 向的断裂构造。

2 挽近活动特征

2.1 北京地区断裂活动

大量资料表明:晚第三纪以来,北京地区的构造活动以断裂活动为主。由于北京地区所处地质构造部位的特殊性,其断裂活动甚多。规模较大、活动性较强的主要为 NNE—NE、NW 向及 EW 向断裂(图 1)。NNE 向断裂规模最大,活动性较强,由西往东组成 4 条较大的活动断裂带。NW 向断裂活动性较强,但断裂的规模不大,延深较浅。EW 向断裂的挽近活动仅局限于某些地段的特殊部位。

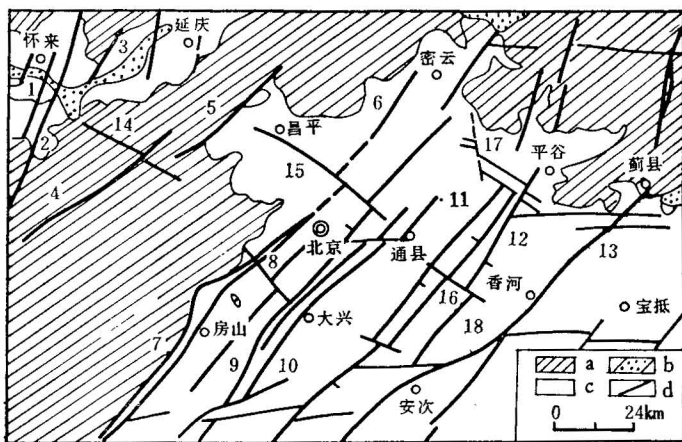


图 1 北京地区活动断裂图

Fig. 1 Sketch map showing the active faults in the Beijing area

a. 基岩区; b. 水库; c. 覆盖区; d. 活动断层

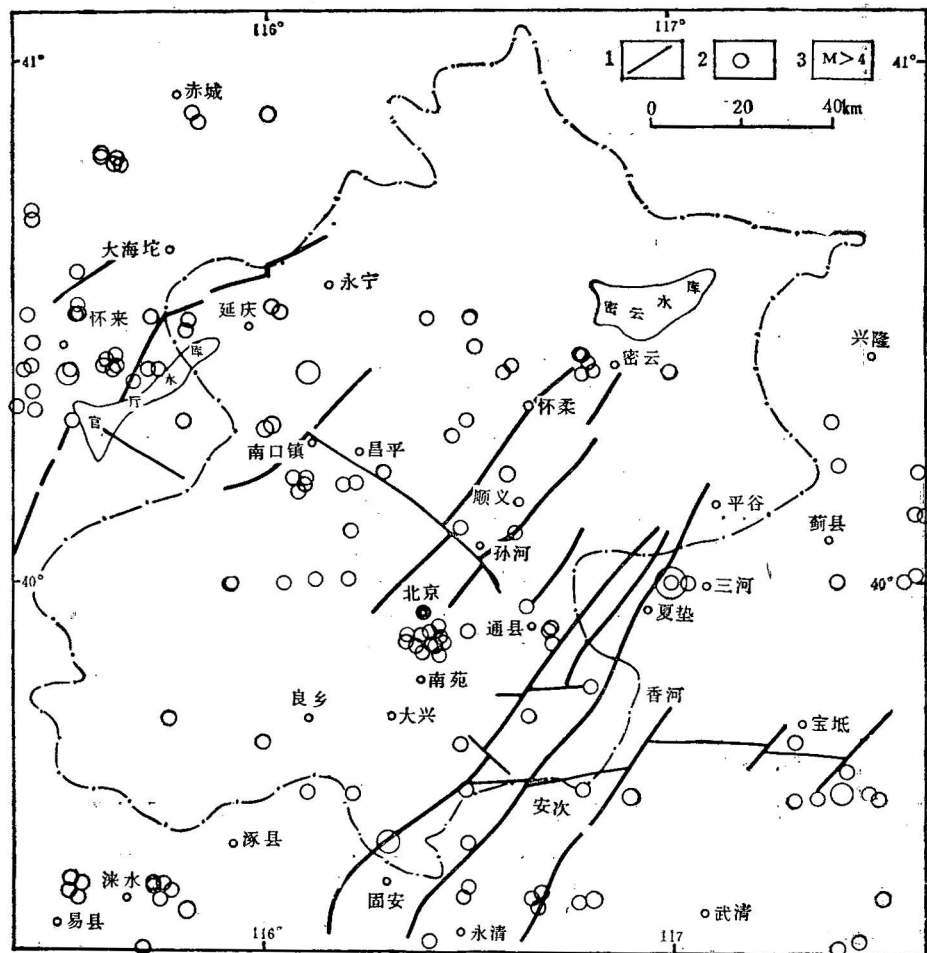
a. Outcrop area; b. reservoir; c. cover; d. active Fault;

1. 南山堡-后郝窑断裂; 2. 孔涧-大石河断裂; 3. 狼山-方家村断裂; 4. 沿河城断裂; 5. 南口山前断裂; 6. 黄庄-高丽营断裂; 7. 八宝山断裂; 8. 良乡-琉璃河断裂; 9. 顺义-码头断裂; 10. 南苑-刁窝断裂; 11. 燕郊-礼贤断裂; 12. 夏垫断裂; 13. 香河断裂; 14. 施庄村断裂; 15. 南口-孙河断裂; 16. 郎府-通县断裂; 17. 二十里长山断裂; 18. 涿县-宝坻断裂

1. Nanshanpu-Houhaoyao fault zone; 2. Kongjian-Dashihe fault zone; 3. Langshan Fangjiacun fault zone; 4. Yanhecheng fault zone; 5. Nankou fault zone; 6. Huangzhuang-Gaoliying fault zone; 7. Babaozhan fault zone; 8. Liangxiang-Liulihe fault zone; 9. Shunyi-Matou fault zone; 10. Nanyuan-Diaowo fault zone; 11. Yanjiao-Lixian fault zone; 12. Xiadian fault zone; 13. Xianghe fault zone; 14. Shizhuangcun fault zone; 15. Nankou-Sunhe fault zone; 16. Langfu-Tongxian fault zone; 17. Ershilichangshan fault zone; 18. Zhuoxian-Baodi fault zone

2.2 地震活动

据历史记载:北京地区记录到的 $M_s \geq 6$ 的共 9 次,其中包括平谷 8 级大地震。从近几十年仪器记录来看,地震都属浅源地震,且主要分布在 10km, 15km, 18km 及 20km 等几个深度。从历史地震分布来看,北京及邻域地区从 14 世纪起可划分为 3 个活动期

图 2 北京地区 247—1977 年 $M \geq 4$ 地震震中分布图Fig. 2 Distribution of $M \geq 4$ earthquakes in the Beijing area

1. 活动断裂; 2. 地震震中; 3. 震级

1. Active fault; 2. epicentre; 3. earthquake magnitude

(14, 17, 20 世纪), 且周期大约 300 年^[6]。由于地震的发生与断裂关系密切, 因此地震活动断裂带相应也具有成带的特性。按其特点可分成 3 个地震活动带 (图 2):

2.2.1 紫荆关-怀来地震活动带 此带位于北京地区西北部, 总体呈 NNE 向。该带中强震频繁, 在怀来一带历史地震大于 4 级的就达 15 次之多, 微震活动强烈。

2.2.2 密云-北京-涿县地震带 此带总体呈 NE 30°, 断裂活动强烈, 在北京东部, 小汤山、良乡等地均有温泉出露及地热异常, 带内发生 6 级以上地震 2 次, 微震活动强烈。

2.2.3 平谷-三河-安次地震带 此带总体呈 NE 30° 在历史上, 1679 年的 8 级大地震就发生在此带上。在郎府等地还先后发生过两次 5—6 级地震。由于第四纪夏垫断裂活动强烈, 故沿带的小震、微震活动频繁。

从现今记录的微震活动来看, 北京地区的微震活动具有 WNW 向和 ENE 向之特

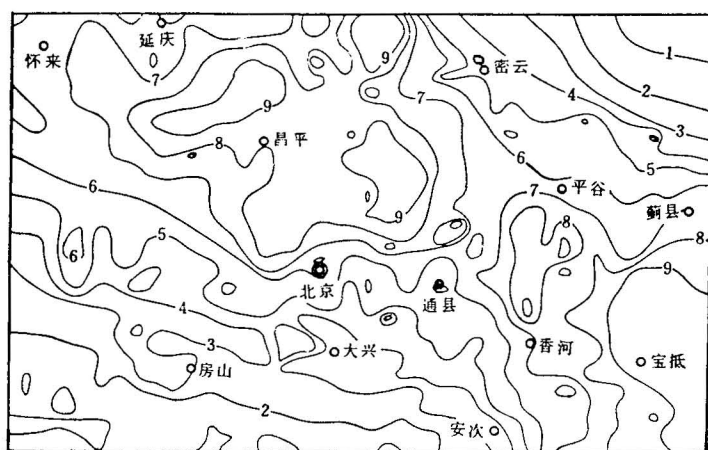


图3 北京地区地震活动度(A7)图

Fig. 3 Degree of seismicity in the Beijing area (A7)

1—9 地震活动度的等高线, 1-0.5, 2-0.75, 3-1.00, 4-1.25, 5-1.50, 6-1.75, 7-2.00, 8-2.25, 9- 2.50×10^7 能级/100km²,

1—9 contour of seismicity degree: 1-0.5, 2-0.75, 3-1.00, 4-1.25, 5-1.50, 6-1.75, 7-2.00, 8-2.25, 9- 2.50×10^7 energy level/100 km²

点(图3)。

2.3 区域地壳活动特点

晚近时期以来, 由于断裂差异运动的影响, 使各个时期该区都呈现不同的构造格局。

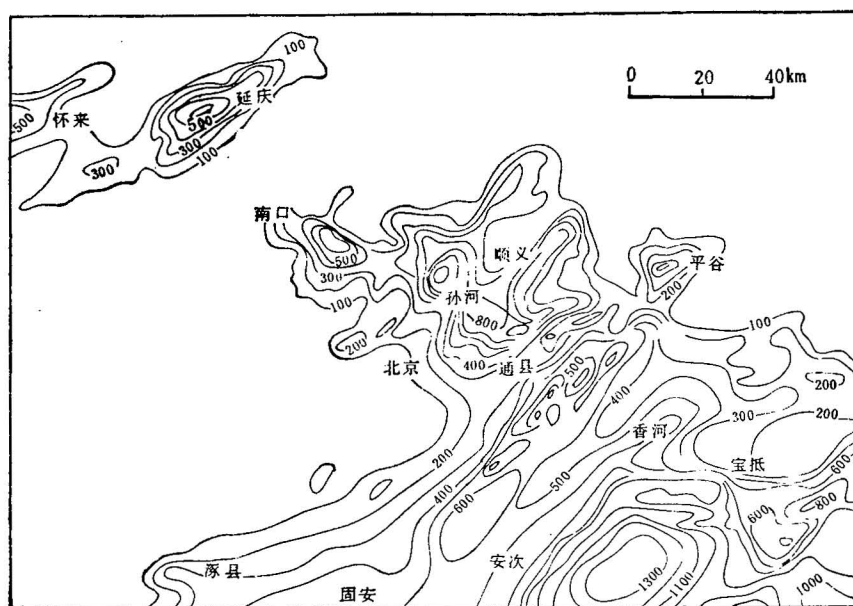


图4 本区第四纪沉积等值线图

Fig. 4 Isopach map of Quaternary sediments

晚第三纪时期,由于黄庄-高丽营、顺义、夏垫等几条断裂的差异运动和宝坻-涿县 EW 向断裂的影响,使宝坻-涿县 EW 断裂以南的地区发生广泛下沉,而北部则呈现京西隆起区。从第四纪开始,北京地区二隆二凹的局面开始解体,使第四系从西山山前向东逐渐增

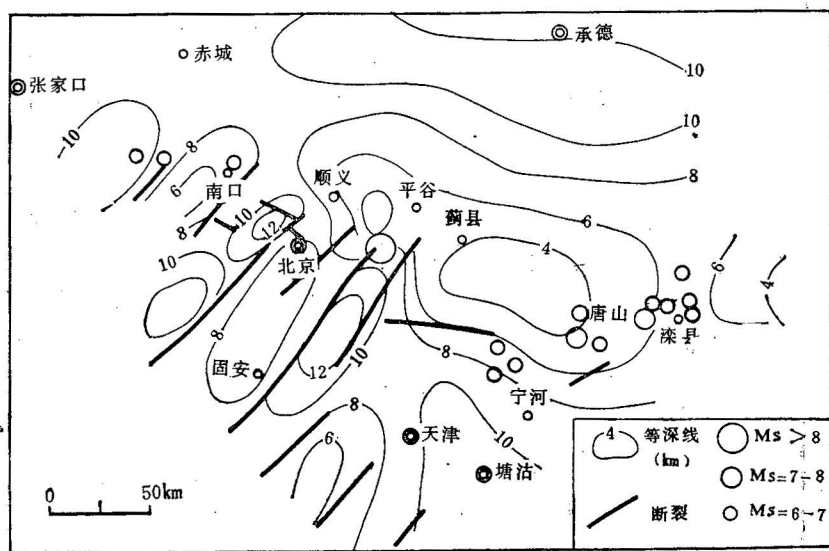


图 5 本区花岗岩层顶部 G 界面构造图(据邵学钟¹⁾等)

Fig. 5 Tectonic map of G boundary surface at the top of the granitic layer
(From Shao Xuezhong)

1) 北京市地震地质会战专题成果, 1980。

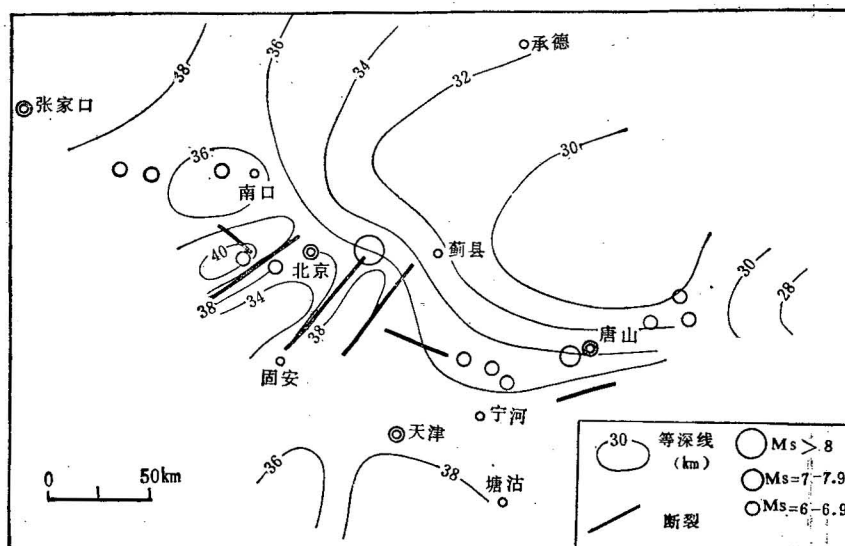


图 6 本区莫氏面 (Mo) 深度图(据邵学钟¹⁾等)

Fig. 6 Map of the Moho depth (Mo) (from Shao Xuezhong)

(1) 同图 5)

厚,北京凹陷已不复存在。由于夏垫断裂在此期间强烈活动,使濒于解体的大厂凹陷又剧烈下降,处于剥蚀状态的北京北部地区,进入第四纪后,剧烈下降,堆积了很厚的第四纪沉积物(图 4)。

3 区域地球物理异常及地壳深部构造特征

通过对区域地质构造、布格重力异常、深部构造(图 5,6)的综合分析可以看出:本区深部构造与浅部构造是一个完整的统一体。它们之间不仅在空间展布方向可以对比,而且有着一致的发育特点。NNE-NE 向、EW 向的主干大断裂均是一些影响较深的构造,而其它的 NW、EW 向断裂构造则较浅,至于褶皱构造,普遍较浅。深部构造与浅部构造的一致性,反映了本区构造的主体呈 NNE-NE 向这一特点。

4 北京地区区域稳定性模糊综合评价

区域稳定性是区域地壳现代活动程度的综合反映^[2,3],它受地震活动、构造活动、地面升降运动、区域物理地质作用及场地特征等诸多因素的控制。因此,要考虑众多影响因素作出区域稳定性的综合分析、评价,得出一个较客观合理的结论,是十分困难的。由于影响区域稳定性的诸因素本身的复杂性,因此它们对区域稳定性的影响程度也是不确定的,不清晰的,信息定量数据往往是不够充分的,加之人们主观认识的差异性,往往很难获得一致性的结论。为此,本文用模糊数学方法,根据各种影响区域稳定性因素中的模糊性,建立模糊识别模型,采用模糊综合评判方法,以便对北京地区的区域稳定性进行综合评价分析,使区域稳定性评价的结果更加客观合理。

4.1 模糊数学的基本思想及模糊综合评价模型^[4,5]

4.1.1 模糊数学的基本思想

模糊数学的根本出发点在于引入模糊集合的概念,即普通的二值集合 $\{0,1\}$ 变为在区间上连续分布的模糊集合 $[0,1]$ 。这样,模糊集合的特征函数——隶属函数,其函数值——隶属度就可以在 $[0,1]$ 区间连续取值。由此,我们可以认为活动断裂带与均质完整的地块都属于稳定地区,但它们的隶属程度完全不同。前者以近于 0 的程度属于稳定地区,而后者隶属于稳定地区的程度几乎为 1。这样就消除了传统的截然划分的方法带来的不合理性,具有渐变的特点。这正是下面我们进行区域稳定性综合评判的基础。

为了确定这种隶属程度,类似于概率论中引入分布函数和概率密度那样。据大量的理论和实践研究,可以建立若干种条件下的隶属函数。在综合评判过程中,正态型隶属函数是将原始资料进行模糊信息化的较为恰当的函数之一,一般地可由函数 $\Phi(x)$ 生成

$$\Phi(x) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left(\frac{x - a_i}{b_i} \right)^2 \right\}, & x \in I \\ 1, & x \notin I \end{cases}$$

其中 $i = 1, 2, \dots, n$

4.1.2 模糊综合评价模型

区域稳定性的模糊综合评价过程可以分为下列几步:

① 确定影响因素,即给出因素集

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\} \quad (1)$$

影响北京地区区域稳定性的主要因素有 U_1 ——地震烈度, U_2 ——断裂活动, U_3 ——地面垂直升降运动, U_4 ——地应力, U_5 ——区域物理地质作用, U_6 ——场地特征。

因此本区有:

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6\} \quad (2)$$

② 给出评价集,即

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\} \quad (3)$$

在研究中我们将北京地区区域稳定程度划分为 5 级,即 V_1 ——稳定, V_2 ——基本稳定, V_3 ——稳定性一般, V_4 ——较不稳定, V_5 ——不稳定,因此本区有

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} \quad (4)$$

③ 建立单因素评价矩阵 R

利用恰当的隶属函数对因素集 U 中的诸因素进行单因素评价,其结果为评价集 V 的模糊子集。对于因素 i 有

$$R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\} \quad (5)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, n$

故单因素评价矩阵

$$R = [R_1, R_2, \dots, R_n]^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (6)$$

对于北京地区 $m = 5$, $n = 6$, R 为 6 行 5 列的矩阵,其具体值的确定将在后面说明。

④ 权值的确定

在进行多因素综合评价中,不同的因素对评定等级具有不同的重要性。根据各因素对区域稳定性影响的主次关系赋予不同的权值,即

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (7)$$

且要求 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, $a_i \geq 0$ $i = 1, 2, \dots, n$

对于北京地区由于考虑了 6 个影响因素,所以有 6 个权值,故

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$$

在区域稳定性评价中,权值的给定主要是考虑本地区地质特点及各因素之间关系来确定的,常常是评价人经验之反映,具有一定的波动性。为了更合理地给出权值,我们通过计算机反演的方法,将评价结果与标准点比较,以使权值分配达到最佳。

⑤ 模糊综合评价数学模型的选择:

通过建立的单因素评价矩阵 R 以及权值分配 A ,就可得出对某一单元的模糊综合评价结果:

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

表 1 北京地区区域稳定性单因素评价表

Table 1 Evaluation of single factor of regional stability in the Beijing area

因素 等级	烈 度	断 裂 活 动	地面垂直 升降运动 (mm/a)	地应力 τ_{max} *	区域物理 地质作用	场地特征
稳定	$\leq 5^\circ$	远离活动断裂带,无活动断裂通过	0—0.01	$< 10 \times 10^2$	物理地质 作用不明显	各种坚硬 的基岩
基本稳定	6°	位于活动断裂带影响区附近, 无活动断裂通过	0.01—0.10	$10—12 \times 10^2$	物理地质作 用不太明显	各种半岩质岩 类和碎裂岩类
稳定一般	7°	位于活动断裂影响区内,活动断裂多次活 动,但现今活动并不强烈,断层两盘相对 垂直运动速率小于 1.0 mm/a 非断裂之 端点拐点,交叉部位	0.1—0.5	$12—13 \times 10^2$	物理地质作 用较明显	密实粘土类,中等-密实 的碎石土类,中等-密实的 粘性土,密石砂土
较不稳定	8°	位于断层两盘垂直运动速率小于 1.0 mm/a 的断裂之交汇部位端点拐点,或断 层两盘垂直运动速率在 $1.0—10 \text{ mm/a}$ 的活动断裂之非端点,拐点和交叉部位。	0.5—2.0	$13—14 \times 10^2$	物理地质 作用明显	松散碎石土,松散的 中、粗砂砾,松散的 粘土(包括黄土)
不稳定	$\geq 9^\circ$	位于断层两盘相对垂直运动速率在 1.0 — 10 mm/a 的活动断裂之端点拐点,交 汇复合部位,或断层两盘相对垂直运动 速率大于 10 mm/a 的活动断裂	> 2.00	$> 14 \times 10^2$	物理地质 作用强烈	软粘土,饱和软粘土, 松散粉细砂,饱和粉 细砂,淤泥,淤泥质 土,人工填土

* $0.9807 \times 10^{-1} \text{ Kbar}$ 为 $* 0.9807 \times 10^1 \text{ Pa}$

$$= [a_1, a_2, \dots, a_n] \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中 b_i 表示该单元隶属于第 i 评语的程度。在满足柴德教授给出的模糊集运算法则的前提下,选用不同的运算法则,可得到不同的模糊评价模型。

$$\text{加权平均模型 } b_i = \sum_{j=1}^n a_j r_{ij} \quad (9)$$

它能对所有的因素依权重大小均衡兼顾,比较适合于要求整体指标的情形,特别对于因素很多,权值较小时更为有利。因此,在评价中我们选用了加权平均型这一模糊综合评价模型。

应当指出,在实际应用中,综合评价的最终结果 B 的绝对大小并不重要,重要的是不同单元对象之间的相对比较,即相对大小的确定。这对于区域稳定性研究中地块单元稳定程度的划分是合理的,即地块的稳定性不是绝对的,其稳定性具有相对性。因此,可以选择适当的处理方法,通过计算机直接输出评语集,使得问题简捷明瞭。

4.2 影响区域稳定性因素的模糊数字化——隶属度的确定

在区域稳定性评价中,由于各评价因素的复杂性,所获取的各种影响因素的资料大都是定性的(非数值化的)。因此,我们不打算去建立一组具有连续变化特点的函数将其进行模糊信息化,而是根据实际情况,将模糊集转化为多值逻辑,利用贴近度分析方法选定一组比较适当的、具有正态分布特点数值 0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 0.8, 0.5, 0.2, 0.0, 以代替隶属函数 $\Phi(x)$, 即用一组满足模糊条件的数表示各种因素对区域稳定性的影响程度。这样可以把研究区域内,各种因素对区域稳定性的影响程度变为隶属度值,这是从多因素分析到综合评价这一模糊过程的基础。同时,为了便于综合评价的计算,各因素之间相对应的隶属程度应完全或基本相等。

对北京市及邻区区域稳定性评价的单因素(表 1)。

对于评价集 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$,

用隶属度表示。相应的单因素评价指数见表 2。

表中的第 i 个因素的第 j 个分量代表了该因素 U_i 对 V_j 级的隶属度。

表 2 单因素评价指数表
Table 2 Table of stability indices of single factor

因素 等级	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
V_1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
V_2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
V_3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V_4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
V_5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

表 3 区域稳定性评价指标与稳定指数对照表
Table 3 Evaluation of regional stability and stability indices

因素 等级	烈 度 (U_1)	断 裂 活 动 (U_2)	地面垂直 升降运动 (U_3)	地应力 $\tau_{\max}$ *(U_4)	区域物理地质 作用 (U_5)	场地特征 (U_6)
稳定 (V_1)	$\leq 5^\circ$ (0.9)	远离活动断裂带,无活动断裂通过 (0.9)	0—0.01 (0.9)	$< 10 \times 10^2$ (0.9)	物理地质作用 不明显 (0.9)	各种坚硬的基岩 (0.9)
基本稳定 (V_2)	6° (0.7)	位于活动断裂带影响区附近, 无活动断裂通过 (0.7)	0.01—0.1 (0.7)	$10—12 \times 10^2$ (0.7)	物理地质作用 不太明显 (0.7)	各种半岩质岩 类和碎裂岩类 (0.7)
稳定一般 (V_3)	7° (0.5)	位于活动断裂影响区内,活动断裂多次活 动,但现今活动并不强烈,断层两盘相对 垂直运动速率小于 1.0 mm/a 非断裂之 端点拐点,交叉部位 (0.5)	0.1—0.5 (0.5)	$12—13 \times 10^2$ (0.5)	物理地质作用 较明显 (0.5)	密实粘土类,中等-密实 的碎石类,中等-密实的 粘性土,密石砂土 (0.5)
较不稳定 (V_4)	8° (0.3)	位于断层两盘垂直运动速率小于 1.0 mm/a 的断裂之交汇复合部位端点拐点 部位,或断层两盘垂直运动速率在 $1.0—$ 10 mm/a 的活动断裂之非端点,拐点和交 叉部位 (0.3)	0.5—2.0 (0.3)	$13—14 \times 10^2$ (0.3)	物理地质作用 明显 (0.3)	松散碎石土,松散的中、 粗砂砾,松散的粘土(包 括黄土) (0.3)
不稳定 (V_5)	$\geq 9^\circ$ (0.1)	位于断层两盘相对垂直运动速率在 $1.0—$ 10 mm/a 的活动断裂之端点拐点,交汇复 合部位,或断层两盘相对垂直运动速率大 于 10 mm/a 的活动断裂 (0.1)	> 2.0 (0.1)	$> 14 \times 10^2$ (0.1)	物理地质作用 强烈 (0.1)	软粘土,饱和软粘土,松 散粉细砂,饱和粉细砂 淤泥,淤泥质土,人工填 土 (0.1)

* 为 $0.9807 \times 10^7 \text{ Pa}$, 表中的 0.1—0.9 等代表隶属度,无单位。

把表1和表2重叠在一起,得表3,通过表3就可以得到某一个单元的单因素评价矩阵 R 。

4.3 北京地区区域稳定性的模糊综合评价

在综合评价中,为避免人为影响和便于分区,将研究区划分为 $5 \times 5 \text{ km}^2$ 的正方形单元,根据本区地质特点以及评价要求,将区域稳定程度分为5个级别。即稳定、基本稳定、稳定性一般、较不稳定、不稳定。整个计算过程在计算机上通过对每个单元进行评价,由计算机自动给出评价结果。

4.3.1 模糊综合评价

把北京地区分成1200个 $5 \times 5 \text{ km}^2$ 的正方形单元,对照表3对个单元的各影响因素进行模糊数字化,得到每个单元各影响因素的隶属度值,建立单因素评价矩阵 R 。进行权值分配,通过多种方案的反演、调整及优化比较,获得最合理的权值分配 A ,按照公式(8)计算出每个单元的评语集。根据隶属原则和本区地质特点,合成最终成果图,即为了明确单元的的稳定级别,取每个单元中隶属度最大者所对应的级别作为本单元的最后评判的稳定级别,若它们等同时应选取其最危险的级别。在此基础上即可划分出北京地区的稳定性分区图。

4.3.2 评价结果分析

图7为最终评价结果,从图可知:风河营-香河-通县-孙河-昌平一带的稳定指数为

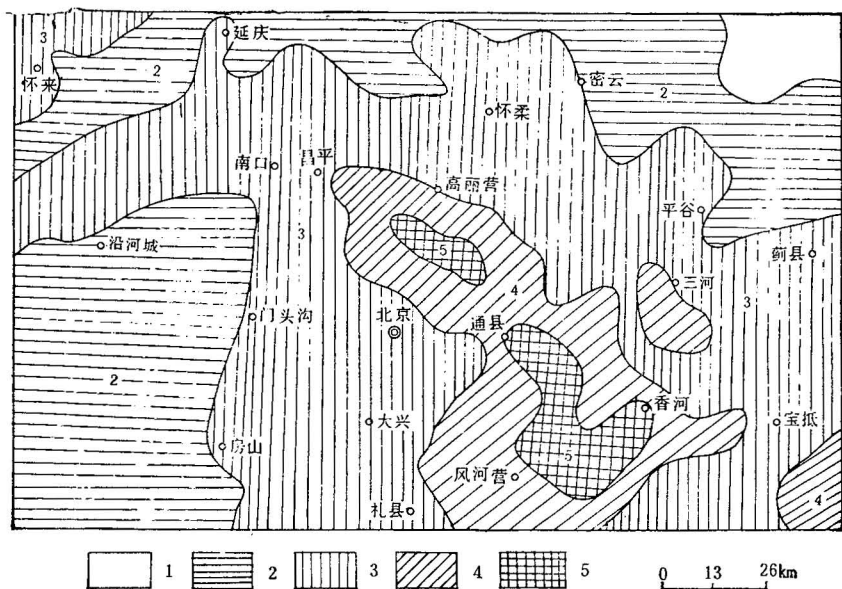


图7 北京地区区域地壳稳定性综合评价分区图

Fig. 7 Map of comprehensive evaluation of regional crustal stability in the Beijing area

1. 稳定; 2. 基本稳定; 3. 稳定一般; 4. 较不稳定; 5. 不稳定

1. Stable, 2. relatively stable, 3. less stable, 4. relatively unstable, 5. unstable

北京地区最低区,评价结果为不稳定级;而房山-门头沟以西、密云-蓟县东北地区、北部山区为北京地区稳定性相对好的地区;其余地区多为稳定性一般级;在北京市的东部和东北部一带为较不稳定级;北京城区主要界于稳定性一般和较不稳定之间,其稳定性指数不高,而稳定性一般—较不稳定相应的单因素烈度为 7° — 8° 。

参 考 文 献

- 1 李四光. 地质力学概论. 北京: 科学出版社, 1973. 21—92 页.
- 2 中国科学院地质所. 工程地质力学研究. 北京: 地质出版社, 1985. 42—64 页.
- 3 黄庆华, 李永贤, 王砚庆, 武红岭. 深圳及周围地区现今应力场的模拟分析及区域稳定性研究. 地质力学研究所刊第 13 号. 北京: 地质出版社, 1989. 185—202 页.
- 4 陈贻源. 模糊数学. 武昌: 华中工学院出版社, 1984. 36—58 页.
- 5 昌璋. 模糊模型识别及其在土地质量评价中的应用. 数学实践与认识, 1983, (1): 26—30.
- 6 Chen Qingxuan, Sun Ye, Zheng Wenqu. Seismicity and tentative seismic hazard zonation of Beijing and vicinity. Proceedings Regional Crustal Stability and Geological Hazards. Printed by China Daily, 1987: 18—24.

SEISMIC ACTIVITY AND FUZZY COMPREHENSIVE EVALUATION OF CRUSTAL STABILITY IN THE BEIJING AREA

Huang Qinghua, Ma Yinsheng,

(*Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing*)

and Song Xinchu

(*Seismological Bureau of Zhejiang Province*)

Abstract

The seismic activity and geological structures in Beijing Municipality and its adjacent regions are discussed in this paper. By using fuzzy mathematics, the fuzzy comprehensive evaluation of regional crustal stability in the Beijing area has been made through transforming the factors controlling regional crustal stability into fuzzy information, and a model of fuzzy comprehensive evaluation is established.

The final conclusion shows that the Fengheying-Xianghe-Tongxian-Sunhe-East Changping area is unstable and relatively unstable. The area west of Fangshan-Mentougou and the northeast of the Miyun-Jixian area and the mountainous area in the north are relatively stable and stable. Other areas are less stable. The eastern and north-eastern parts of Beijing Municipality are relative unstable. The stability of Beijing City proper is situated between relatively unstable areas and less stable areas. Its stability index is not high, corresponding to a seismic intensity of 7° — 8° by means of single factor evaluation.

Key words: fuzzy mathematics, regional stability

作 者 简 介

黄庆华, 1930年生, 1956年毕业于原东北地质学院地质与矿产勘查系, 1960年清华大学工程力学研究生班毕业。主要从事地质力学和构造力学工作。现任中国地质科学院地质力学研究所研究员。通讯处: 北京西郊民族学院南路十一号地质力学研究所; 邮政编码: 100081。