

# 中国区域地壳稳定性量化评价与分区

孙 叶 谭成轩 杨贵生

(中国地质科学院城市与工程场地稳定性研究中心)

王瑞江

(地质矿产部科技司)

**摘 要** 中国地处环太平洋构造带与地中海构造带交接部位,地质构造复杂,活动性较为强烈,各种内动力地质灾害比较严重,总体看来中国区域地壳稳定性相对较差。为了使区域地壳稳定性评价与分区获得量化认识,更好地服务于经济建设和减灾防灾,本文在分析中国现今活动的主要构造体系与内动力地质灾害的分布规律的基础上,首先进行区域地壳稳定性量化评价待评区的划分;其次进行量化评价指标的选定、取值、权重分配及评价标准的确定;最后运用模糊数学进行中国区域地壳稳定性量化评价与分区。

**关键词** 区域地壳稳定性 量化评价与分区 模糊数学 评价指标 评价标准

## 1 区域地壳稳定性量化评价待评区的划分

区域地壳稳定性量化评价与分区是以构造稳定性为主,配合岩土体稳定性,重点考虑内动力地质灾害的发育程度等。因此,中国区域地壳稳定性量化评价待评区的划分,是在分析中国现今活动的主要构造体系与内动力地质灾害分布规律的基础上进行的<sup>[1-10]</sup>。

### 1.1 中国现今活动的主要构造体系与内动力地质灾害的空间展布

通过中国现今地形变场、现今断层位移场、现今地应力场、内动力地质灾害场、地壳结构基本特征与分区等分析研究<sup>[11]</sup>,中国现今活动的主要构造体系有:纬向构造体系(天山—阴山构造带、昆仑—秦岭构造带)、经向构造体系(SN向构造带)、东部的新华夏系、西北部的西域系、西南部的青藏反“S”型体系。它们分别控制各种内动力地质灾害的展布,并以纬向构造体系和经向构造体系作为内动力地质灾害分区之骨架。

### 1.2 中国区域地壳稳定性量化评价待评区的划分

在中国现今活动的主要构造体系与各种内动力地质灾害分布规律的基础上,划分区域地壳稳定性量化评价待评区:

#### 1.2.1 纬向构造体系

(1)天山—阴山纬向构造带,划分 5 个三级待评区,即  $A_1$ 、 $A_2$ 、……、 $A_5$ ;

(2) 昆仑—秦岭纬向构造带 (A<sub>6</sub>—A<sub>9</sub>)

### 1.2.2 经向构造带

SN 向构造带 (A<sub>10</sub>—A<sub>12</sub>)

### 1.2.3 中国东部新华夏系展布区域

(1) 东北地区 (A<sub>13</sub>—A<sub>18</sub>);

(2) 华北地区 (A<sub>19</sub>—A<sub>30</sub>);

(3) 华南地区 (A<sub>31</sub>—A<sub>42</sub>);

(4) 台湾地区 (A<sub>43</sub>—A<sub>45</sub>);

### 1.2.4 中国西北部西域系展布区域

(1) 北疆地区 (A<sub>46</sub>—A<sub>50</sub>);

(2) 新青陇地区 (A<sub>51</sub>—A<sub>56</sub>);

### 1.2.5 中国西南部青藏反“S”型体系展布区域

(1) 青藏高原地区 (A<sub>57</sub>—A<sub>62</sub>);

(2) 三江地区 (A<sub>63</sub>—A<sub>69</sub>);

## 2 区域地壳稳定性定量化评价指标的选定、取值、权重分配及评价标准的确定

在中国现今活动的主要构造体系及内动力地质灾害的分析研究的基础上,中国区域地壳稳定性定量化评价主要选择了 6 项指标,按照定量化评价的要求,各指标总得分为 10 依据各指标对地壳稳定性的影响程度以及必要的计算分析,6 项指标取值标准及权重分配如下:

### 2.1 表层地壳结构与岩土力学性质 (F<sub>1</sub>)

权重分配 17%。

#### 2.1.1 表层地壳结构

按照地质构造特征及其复杂程度,划分 4 个等级:

(1) 主干断裂带与构造复合部位,构造复杂,得分 0;

(2) 地壳表层属镶嵌结构,构造较复杂,得分 2;

(3) 地壳表层属碎块结构,构造中等发育,得分 4;

(4) 地壳表层属块体结构,构造简单,得分 5

#### 2.1.2 岩土力学性质

按照土体、岩体建筑承载条件和能力,存在工程病害的情况,划分 4 个等级:

(1) 具有病害的土层,得分 0;

(2) 较好的土层,得分 2;

(3) 良好的土层,得分 4;

(4) 基岩山区或覆盖很薄的山区,得分 5

### 2.2 深部地壳结构构造与深断裂 (F<sub>2</sub>)

权重分配 13%。

#### 2.2.1 地壳分层、界面、厚度与稳定程度

(1) 分层不稳定,地壳加厚变薄显著,上、下层产状成反向变化,得分 0;

(2) 分层较清楚,厚度较稳定,产状变化较小,得分 1.5;

(3)分层清楚,厚度稳定正常,产状平缓,得分 3

## 2.2.2 深部断裂

(1)穿壳断裂,得分 0;

(2)地壳断裂,得分 1.5;

(3)基底断裂,得分 3

## 2.2.3 地壳均衡程度

主要根据均衡重力异常,参考居里面埋深,大地热流值,地温梯度等进行划分。

(1)失衡严重,± 80mGal以上,得分 0;

(2)失衡较严重,± 40mGal左右,得分 1.5;

(3)基本均衡状态,± 20mGal以内,得分 3

## 2.2.4 其它 得分 1

## 2.3 地块升降与现今地壳活动速率 ( $F_3$ )

权重分配 10%。

### 2.3.1 现今地壳升降速率量值

(1)高值区,  $> + 8 < - 8$  mm/a,得分 0;

(2)中值区,  $+ 8 - + 4 - 8 - 4$  mm/a,得分 1.5;

(3)低值区,  $+ 4 - 0 - 4$  mm/a,得分 3

### 2.3.2 现今地壳升降速率的形变梯度带

(1)一级梯度带,每 100km  $\geq 5$  mm/a,得分 0;

(2)二级梯度带,每 100km  $< 5$  mm/a,得分 1.5;

(3)块状地区,梯度带不发育,得分 3

### 2.3.3 速率等值线的方向性与构造线的一致性

(1)方向性强,一致性好者得分 0;

(2)方向性较好,一致性较好者得分 1.5;

(3)方向性弱,无一致性者得分 3

### 2.3.4 其它 主要考虑挽近以来的地块升降与速率,得分 1

## 2.4 断裂及其活动性 ( $F_4$ )

权重分配 20%。

### 2.4.1 断裂发育程度

(1)延伸长,带宽,复杂者,得分 0;

(2)延伸中等,带较宽,中等程度者,得分 1.5;

(3)延伸短,发育程度简单者,得分 3

### 2.4.2 断裂活动性演化发展与挽近活动性

(1)挽近活动性强,连续活动,得分 0;

(2)挽近活动性中等,断续活动,得分 1;

(3)挽近活动性弱,断续活动,得分 2

### 2.4.3 断裂现今活动性

根据断层现今位移速率及其在工程建筑中的等级,将断裂现今活动性分为强、中、弱三类。但由于我国东、西两部分现今位移速率相差可达一个量级,故可酌情调整处理。

(1)强者:高速活动断层,较高速活动断层 ( $> 1$  mm/a),得分 0;

(2)中等者:中速活动断层(0.09—0.1 mm/a),得分 2.5;

(3)弱者:低速活动断层,微速活动断层( $<0.09$  mm/a),得分 5

## 2.5 现今地应力与能量集中程度( $F_5$ )

主要根据浅层实测地应力值,深处地应力值增加速率,以及地应力场模拟实验资料等综合分析。由于地应力值影响因素众多,分析中仅作概略对比。权重分配 15%。

### 2.5.1 现今地应力值

(1)高值区。浅层最大主压应力 4 MPa 以上,最大剪切应力 2 MPa 以上,深部地应力增加快,得分 0;

(2)较高值区。浅层最大主压应力 3 MPa 左右,最大剪切应力 1 MPa 左右,得分 1;

(3)中值区。浅层最大主压应力 2 MPa 左右,最大剪切应力 1 MPa 以下,得分 2;

(4)低值区。浅层最大主压应力 1 MPa 以下,最大剪切应力低,得分 3

### 2.5.2 现今最大主压应力方向与区域主干断裂的交角

(1)交角  $25^\circ$ — $55^\circ$ ,得分 0;

(2)交角  $20^\circ$ 左右者,得分 1.5;

(3)交角  $<15^\circ$ ,得分 3

### 2.5.3 现今能量集中程度与近代释放情况

(1)高值区,得分 0;

(2)中值区,得分 1.5;

(3)低值区,得分 3

### 2.5.4 其它 主要考虑地应力和能量值在不同地质时期的发展变化情况,得分 1

## 2.6 主要内动力地质灾害( $F_6$ )

根据中国区域地壳稳定程度分区等级与内动力地质灾害的破坏关系,将其综合划分为 4 个等级,权重分配 25%。

(1)地震烈度  $\geq 9$  区,各种大型、巨型灾害区,得分 0—3;

(2)地震烈度 8 区,各种中型灾害区,得分 4—5;

(3)地震烈度 7 区,各种小型灾害区,得分 6—7;

(4)地震烈度  $\leq 6$  区,基本无灾害区,得分 8—10

由于有些严重的内动力地质灾害仅有点上的资料,无法以面(区域或地区)表示,拟在图上以点表示,以便引起重视

根据上述取值标准,得各待评区的总体质量矩阵如表 1

根据中华人民共和国专业标准(ZBD 14001—89 ZBD 14002—89 ZBD 14003—89)和工程地质编图及调查规范的要求,将中国区域地壳稳定性定量化评价与分区指标评价标准和相对地壳稳定性的等级划分为:相对稳定 [10, 7)<sup>①</sup>,相对较稳定 [7, 5),相对较不稳定 [5, 3),相对不稳定 [3, 0]

① 代表数学上之闭域和开域,下同。

表 1 中国区域地壳稳定性待评区总体质量矩阵一览表

Table 1 General quality matrix of prepared evaluation areas of regional crustal stability in China

待评的构造分区			评价指标代号及得分					
一级	二级	三级	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
纬 向 构 造 带	天山、阴山纬 向构造带	A <sub>1</sub>	6.00	4.00	4.50	3.00	6.00	5.00
		A <sub>2</sub>	8.00	7.00	7.00	8.00	8.00	10.00
		A <sub>3</sub>	5.00	6.00	5.00	6.00	7.00	5.00
		A <sub>4</sub>	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00
		A <sub>5</sub>	8.00	8.00	7.00	8.00	8.00	9.00
	昆仑、秦岭纬 向构造带	A <sub>6</sub>	6.00	4.00	4.50	3.00	6.00	5.00
		A <sub>7</sub>	6.00	4.00	5.00	3.00	7.00	5.00
		A <sub>8</sub>	6.00	4.00	4.50	5.00	6.00	5.00
		A <sub>9</sub>	6.00	4.00	4.50	5.00	5.00	5.00
经向构 造体系	SN 向 构造带	A <sub>10</sub>	5.00	5.00	6.00	4.00	4.00	4.00
		A <sub>11</sub>	6.00	7.00	4.00	5.00	6.00	5.00
		A <sub>12</sub>	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	5.00
中 国 东 部 新 华 夏 构 造 体 系 展 布 区 域	东北地区	A <sub>13-1</sub>	6.00	8.00	8.00	9.00	9.00	10.00
		A <sub>13-2</sub>	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	10.00
		A <sub>14</sub>	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	9.00
		A <sub>15</sub>	6.00	7.00	6.00	8.00	8.00	7.00
		A <sub>16</sub>	8.00	8.00	7.00	8.00	9.00	8.00
		A <sub>17</sub>	4.00	6.00	5.00	5.00	6.00	5.00
		A <sub>18</sub>	9.00	8.00	7.00	8.00	9.00	9.00
		A <sub>19-1</sub>	3.00	4.00	5.00	7.00	6.00	3.00
	华北地区	A <sub>19-2</sub>	9.00	8.00	5.00	9.00	9.00	9.00
		A <sub>20</sub>	10.00	10.00	9.50	10.00	10.00	9.50
		A <sub>21</sub>	3.00	3.00	6.00	4.00	4.00	5.00
		A <sub>22</sub>	6.00	8.00	8.00	7.00	8.00	9.00
		A <sub>23</sub>	5.00	5.00	5.00	6.00	7.00	6.00
		A <sub>24</sub>	4.00	6.00	3.00	5.00	5.00	5.00
		A <sub>25</sub>	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
		A <sub>26</sub>	5.00	6.00	5.00	5.00	6.00	6.00
		A <sub>27</sub>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		A <sub>28</sub>	9.00	9.00	8.50	8.50	9.00	9.00
		A <sub>29</sub>	8.00	8.00	7.00	8.00	8.00	8.00
	A <sub>30</sub>	6.00	7.00	5.00	7.00	7.00	7.00	
	华南地区	A <sub>31</sub>	9.00	10.00	9.00	10.00	10.00	9.00
		A <sub>32</sub>	5.00	6.00	4.00	5.00	4.00	2.00
		A <sub>33</sub>	7.00	8.00	6.00	8.00	8.00	9.00
		A <sub>34</sub>	6.00	6.00	4.00	5.00	7.00	7.00
		A <sub>35</sub>	4.00	6.00	4.50	5.00	4.00	4.00
		A <sub>36</sub>	6.00	7.00	5.00	4.00	6.00	6.00
		A <sub>37</sub>	8.00	8.00	6.00	7.00	8.00	8.00
		A <sub>38</sub>	6.00	5.00	5.00	6.00	7.00	6.00
		A <sub>39</sub>	8.00	8.00	7.00	9.00	8.00	9.00
		A <sub>40</sub>	9.00	9.00	8.00	9.00	9.00	9.00
		A <sub>41</sub>	8.00	8.00	7.00	8.00	8.00	8.00
		A <sub>42</sub>	6.00	6.00	4.00	6.00	5.00	5.00
	台湾地区	A <sub>43</sub>	3.00	2.00	1.00	2.00	3.00	3.00
		A <sub>44</sub>	5.00	5.00	3.00	5.00	6.00	6.00
		A <sub>45</sub>	2.00	1.00	1.00	0.00	2.00	1.00

待评的构造分区			评价指标代号及得分					
一级	二级	三级	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
中国西北部西域	北疆地区	A <sub>46</sub>	8.00	7.00	6.00	8.00	8.00	8.00
		A <sub>47</sub>	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00
		A <sub>48</sub>	5.00	4.00	3.00	3.00	5.00	5.00
		A <sub>49</sub>	8.00	8.00	6.00	8.00	8.00	9.00
		A <sub>50</sub>	6.00	6.00	5.00	7.00	6.00	6.00
	新青陇地区	A <sub>51</sub>	4.00	4.00	6.00	4.00	5.00	4.00
		A <sub>52</sub>	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
		A <sub>53</sub>	5.00	6.00	4.00	5.00	7.00	6.00
		A <sub>54</sub>	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.00
		A <sub>55</sub>	5.00	4.00	3.00	4.00	6.00	3.00
		A <sub>56</sub>	9.00	9.00	8.00	9.00	9.00	7.00
	中国西南部青藏反S <sub>2</sub>	青藏高原区	A <sub>57</sub>	7.00	6.00	4.00	5.00	6.00
A <sub>58</sub>			7.00	8.00	5.00	8.00	8.00	7.00
A <sub>59</sub>			8.00	7.50	7.50	9.00	9.00	8.00
A <sub>60</sub>			8.00	8.00	7.00	8.00	8.00	7.00
A <sub>61</sub>			4.00	4.00	1.00	4.00	5.00	6.00
A <sub>62</sub>			2.00	2.00	0.00	2.00	3.00	4.00
三江地区		A <sub>63</sub>	5.00	5.00	4.00	6.00	7.00	4.00
		A <sub>64</sub>	7.00	7.00	6.00	7.00	5.00	5.00
		A <sub>65</sub>	4.00	5.00	4.00	5.00	6.00	4.00
		A <sub>66</sub>	6.00	6.00	5.00	7.00	5.00	5.00
		A <sub>67</sub>	4.00	3.00	2.00	2.00	4.00	5.00
		A <sub>68</sub>	6.00	7.00	2.50	5.00	6.00	6.00
A <sub>69</sub>	8.00	8.00	7.00	7.00	8.00	8.00		

### 3 中国区域地壳稳定性定量化评价的模糊数学综合评判计算与分区

#### 3.1 模糊数学综合评判计算原理<sup>[12-14]</sup>

根据前述相对地壳稳定性的等级划分,给定评价集:

$$B = \{\text{稳定、较稳定、较不稳定、不稳定}\}$$

根据地壳稳定性评价标准,求出指标  $X_i$  在  $B$  上的评价模糊子集:

$$R_i = (V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, V_{i4})$$

$n$  个指标构成的模糊子集为:

$$R = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & V_{14} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{n1} & V_{n2} & V_{n3} & V_{n4} \end{bmatrix}$$

在众多评价指标中,重要性各不相同,则各指标权重构成的模糊子集为:

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 100\%$$

则评价集:

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

作归一化处理:

$$b_k = \frac{b_k}{\sum_{k=1}^4 b_k}$$

得到 4 个稳定性评价级别的隶属度,按照最大隶属度原则确定其稳定级别

### 3.2 中国区域地壳稳定性量化评价的模糊数学综合评判计算与分区

#### 3.2.1 中国区域地壳稳定性量化评价的模糊数学综合评判计算

把有关数据按程序要求格式输入计算机,然后运行计算程序,最后得到每个待评区四个输出结果,即前述评价集  $B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ ,再作归一化处理,按最大隶属度原则确定其稳定级别(表 2)。

#### 3.2.2 中国区域地壳稳定性分区

根据各待评区相对地壳稳定性模糊数学综合评判计算结果,结合不同构造级别,进行中国区域地壳稳定性概略分区(图 1,表 2)。

表 2 中国区域地壳稳定性分区

Table 2 Zonation of regional crustal stability in China

区域地壳稳定性分区			待评区 编 号	稳定性模糊数学综合评判				
一级	二级	三级		稳定	较稳定	较不稳定	不稳定	稳定等级
纬 向 构 造 体 系 (L)	天 山 、 阴 山 带 (L <sub>1</sub> )	天山相对较稳定段 (L <sub>1</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>1</sub>	.000	.470	.330	.200	2
		天山相对稳定段 (L <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		阴山相对较稳定段 (L <sub>1</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>3</sub>	.150	.590	.260	.000	2
		燕山相对稳定段 (L <sub>1</sub> <sup>4</sup> )	A <sub>4</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		老岭相对稳定段 (L <sub>1</sub> <sup>5</sup> )	A <sub>5</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
	昆 仑 、 秦 岭 带 (L <sub>2</sub> )	昆仑山西段相对较稳定段 (L <sub>2</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>6</sub>	.000	.470	.330	.200	2
		昆仑山东段相对较稳定段 (L <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>7</sub>	.150	.345	.305	.200	2
		青甘南部相对较稳定段 (L <sub>2</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>8</sub>	.000	.570	.430	.000	2
		秦岭、大别山相对较稳定段 (L <sub>2</sub> <sup>4</sup> )	A <sub>9</sub>	.150	.480	.420	.000	2
经 向 构 造 体 系 (M)	南 北 向 构 造 带 (M <sub>1</sub> )	贺兰山相对较不稳定段 (M <sub>1</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>10</sub>	.000	.250	.750	.000	3
		龙门山相对较稳定段 (M <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>11</sub>	.130	.545	.325	.000	2
		川滇相对较不稳定段 (M <sub>1</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>12</sub>	.000	.125	.525	.350	3

区域地壳稳定性分区			待评区 编 号	稳定性模糊数学综合评判				
一级	二级	三级		稳定	较稳定	较不稳定	不稳定	稳定等级
中国 东部 新华 夏系 区 域 (N)	东 北 地 区 (N <sub>1</sub> )	大兴安岭周围相对稳定区 (N <sub>1</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>13-1</sub>	.830	.170	.000	.000	1
			A <sub>13-2</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		大兴安岭相对稳定带 (N <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>14</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		小兴安岭相对稳定带 (N <sub>1</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>15</sub>	.730	.270	.000	.000	1
		青黑山相对稳定区 (N <sub>1</sub> <sup>4</sup> )	A <sub>16</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		松花江相对较稳定带 (N <sub>1</sub> <sup>5</sup> )	A <sub>17</sub>	.000	.555	.445	.000	2
		长白山相对稳定区 (N <sub>1</sub> <sup>6</sup> )	A <sub>18</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>19-1</sub>	辽沈相对较不稳定段 (N <sub>1</sub> <sup>7</sup> )	.200	.200	.380	.220	3
		A <sub>19-2</sub>	辽东半岛相对稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>1</sup> )	.900	.050	.050	.000	1
		A <sub>20</sub>	鄂尔多斯相对稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>21</sub>	汾渭相对较不稳定带 (N <sub>2</sub> <sup>3</sup> )	.000	.225	.475	.300	3
		A <sub>22</sub>	晋东南相对稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>4</sup> )	.830	.170	.000	.000	1
		A <sub>23</sub>	太行山相对较稳定带 (N <sub>2</sub> <sup>5</sup> )	.150	.650	.200	.000	2
		A <sub>24</sub>	河北平原相对较不稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>6</sup> )	.000	.430	.470	.100	3
		A <sub>25</sub>	鲁西相对稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>7</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>26</sub>	郯庐带北段相对较稳定段 (N <sub>2</sub> <sup>8</sup> )	.000	.765	.235	.000	2
		A <sub>27</sub>	郯庐带南段相对较不稳定段 (N <sub>2</sub> <sup>9</sup> )	.000	.000	1.000	.000	3
		A <sub>28</sub>	胶东半岛相对稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>10</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>29</sub>	云台山相对稳定 (N <sub>2</sub> <sup>11</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>30</sub>	苏北相对稳定区 (N <sub>2</sub> <sup>12</sup> )	.730	.220	.050	.000	1
		A <sub>31</sub>	华南山区相对稳定区 (N <sub>3</sub> <sup>1</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>32</sub>	华蓥山相对较不稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>2</sup> )	.000	.315	.435	.250	3
		A <sub>33</sub>	雪峰山相对稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>3</sup> )	.900	.100	.000	.000	1
		A <sub>34</sub>	洞庭湖平原相对较稳定区 (N <sub>3</sub> <sup>4</sup> )	.400	.400	.200	.000	2
		A <sub>35</sub>	罗霄山相对较不稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>5</sup> )	.000	.255	.745	.000	3
		A <sub>36</sub>	赣江相对较稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>6</sup> )	.130	.620	.250	.000	2
		A <sub>37</sub>	诸广山相对稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>7</sup> )	.900	.100	.000	.000	1
		A <sub>38</sub>	云雾山相对较稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>8</sup> )	.150	.735	.115	.000	2
		A <sub>39</sub>	五指山相对稳定区 (N <sub>3</sub> <sup>9</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
		A <sub>40</sub>	武夷山相对稳定区 (N <sub>3</sub> <sup>10</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1
	A <sub>41</sub>	闽浙沿海相对稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>11</sup> )	1.000	.000	.000	.000	1	
	A <sub>42</sub>	东南沿海相对较稳定带 (N <sub>3</sub> <sup>12</sup> )	.000	.700	.300	.000	2	
	A <sub>43</sub>	台西相对不稳定带 (N <sub>4</sub> <sup>1</sup> )	.000	.000	.000	1.000	4	
	A <sub>44</sub>	台中相对较稳定带 (N <sub>4</sub> <sup>2</sup> )	.000	.650	.250	.100	2	
	A <sub>45</sub>	台东相对不稳定带 (N <sub>4</sub> <sup>3</sup> )	.000	.000	.000	1.000	4	



续表 2

区域地壳稳定性分区			待评区 编 号	稳定性模糊数学综合评判				
一级	二级	三级		稳定	较稳定	较不稳定	不稳定	稳定等级
中国西北部 西域系 河西系区域 (X)	北疆地区 (X <sub>1</sub> )	友谊峰相对稳定区 (X <sub>1</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>46</sub>	.900	.100	.000	.000	1
		额尔齐斯河相对较稳定带 (X <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>47</sub>	.200	.800	.000	.000	2
		富蕴相对较不稳定带 (X <sub>1</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>48</sub>	.000	.285	.415	.300	3
		准噶尔相对稳定区 (X <sub>1</sub> <sup>4</sup> )	A <sub>49</sub>	.900	.100	.000	.000	1
		艾比湖相对较稳定带 (X <sub>1</sub> <sup>5</sup> )	A <sub>50</sub>	.200	.750	.050	.000	2
	新疆地区 (X <sub>2</sub> )	帕米尔相对较不稳定带 (X <sub>2</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>51</sub>	.000	.175	.825	.000	3
		塔里木相对稳定区 (X <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>52</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		阿尔金山相对较稳定区 (X <sub>2</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>53</sub>	.150	.565	.285	.000	2
		柴达木相对稳定区 (X <sub>2</sub> <sup>4</sup> )	A <sub>54</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		祁连山相对较不稳定带 (X <sub>2</sub> <sup>5</sup> )	A <sub>55</sub>	.000	.235	.415	.350	3
		阿拉善相对稳定区 (X <sub>2</sub> <sup>6</sup> )	A <sub>56</sub>	1.000	.000	.000	.000	1
		中国西南部 青藏反“S”型系区域 (S)	青藏高原区 (S <sub>1</sub> )	怒江上游两侧相对较稳定区 (S <sub>1</sub> <sup>1</sup> )	A <sub>57</sub>	.170	.630	.200
吉利雅山口相对稳定区 (S <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	A <sub>58</sub>			.900	.050	.050	.000	1
阿里北部相对稳定区 (S <sub>1</sub> <sup>3</sup> )	A <sub>59</sub>			1.000	.000	.000	.000	1
冈底斯相对稳定区 (S <sub>1</sub> <sup>4</sup> )	A <sub>60</sub>			1.000	.000	.000	.000	1
喜马拉雅山相对较不稳定带 (S <sub>1</sub> <sup>5</sup> )	A <sub>61</sub>			.000	.325	.575	.100	3
苏班西里河相对不稳定段 (S <sub>1</sub> <sup>6</sup> )	A <sub>62</sub>			.000	.000	.250	.750	4
三江地区 (S <sub>2</sub> )	布力汗布达山相对较不稳定带 (S <sub>2</sub> <sup>1</sup> )		A <sub>63</sub>	.150	.350	.500	.000	3
	阿坝相对较稳定区 (S <sub>2</sub> <sup>2</sup> )		A <sub>64</sub>	.450	.550	.000	.000	2
	来金山相对较不稳定带 (S <sub>2</sub> <sup>3</sup> )		A <sub>65</sub>	.000	.315	.685	.000	3
	大渡河相对较稳定区 (S <sub>2</sub> <sup>4</sup> )		A <sub>66</sub>	.400	.550	.050	.000	2
	澜沧江相对较不稳定带 (S <sub>2</sub> <sup>5</sup> )		A <sub>67</sub>	.000	.125	.445	.430	3
	大盈江相对较稳定区 (S <sub>2</sub> <sup>6</sup> )		A <sub>68</sub>	.130	.670	.100	.100	2
	阿墨河相对稳定区 (S <sub>2</sub> <sup>7</sup> )	A <sub>69</sub>	1.000	.000	.000	.000	1	

注: 1. 相对稳定区; 2. 相对较稳定区; 3. 相对较不稳定区; 4. 相对不稳定区。

### 3.2.3 中国区域地壳稳定性分区中的几点说明

上述中国区域地壳稳定性分区,限于编图的比例尺很小,全国各处有关资料分布也不均匀,特别是边远地区资料较少,研究程度较低,这里仅仅作了概略性的分区,作为反映我们的研究思路,提供讨论问题时参考。

通过全国稳定性概略分区的六项指标内容的确定及其权重分配情况,可以看出:以构造稳定性评价为主,配合岩体、土体稳定状况;根据现今地壳运动状况为主,结合晚近活动和地质时期的发展演化,进行地壳活动性评价和判定。为了判定区域地壳稳定程度,在分析地壳活动性与地应力场的同时,又落实到各种内动力地质灾害方面,并使之获得较多的权重。

分区中对我国的内动力地质灾害进行了多方面的分析,以地震灾害为主,对1990年国家地震局编《中国地震烈度区划图》进行了分析。同时,考虑了地下坑道变形,煤瓦斯突出,冲击地压,钻孔套损,地下热害等,加强了地下稳定性变化的评判,对现今地壳形变可能导致灾害的发

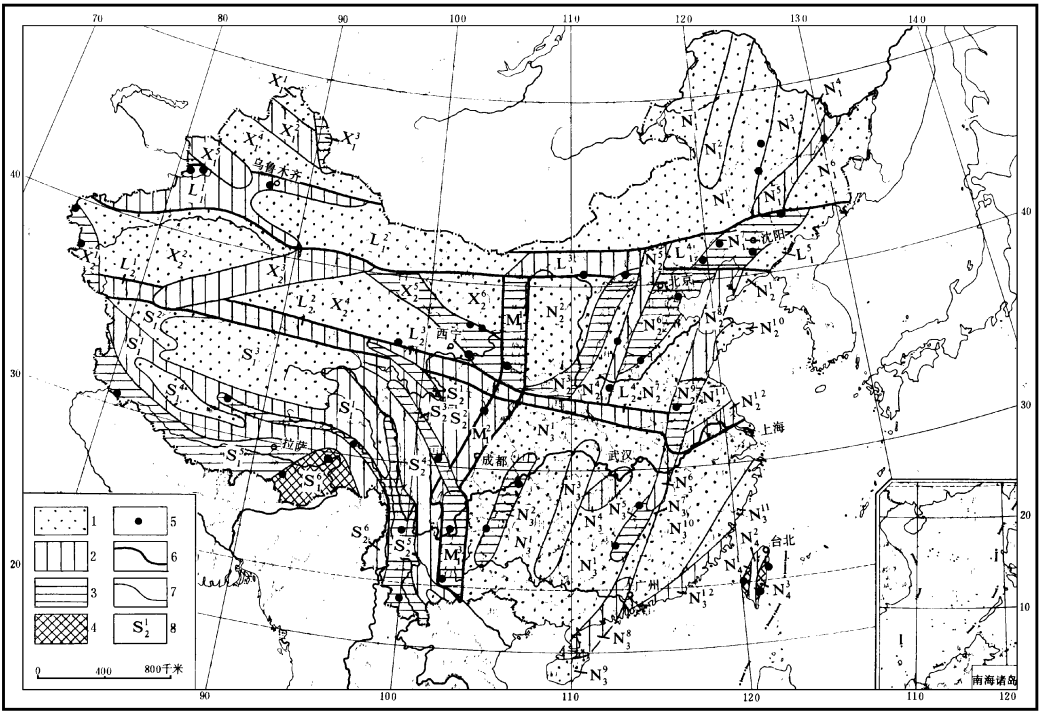


图 1 中国区域地壳稳定性分区略图

Fig. 1 The zonation sketch map of regional crustal stability in China

1. 相对稳定区; 2. 相对较稳定区; 3. 相对较不稳定区; 4. 相对不稳定区; 5. 相对不稳定内动力地质灾害点; 6. 一级分区界线; 7. 二级、三级分区界线; 8. 分区编号

生, 现今断层位移活动, 构造地裂缝等灾害, 也进行了分析评判。因此, 在全国分区中划分出: 与煤瓦斯突出、冲击地压、地下热害、坑道变形、钻孔套损等地下灾害有关的区、带, 诸如松花江相对较稳定带 ( $N_1^1$ )、辽沈相对较不稳定段 ( $N_1^7$ )、太行山相对较稳定带 ( $N_2^2$ )、华蓥山相对较不稳定带 ( $N_3^3$ )、罗霄山相对较不稳定带 ( $N_3^3$ )、以及祁连山相对较不稳定带 ( $X_2^2$ )等。这些都启发我们应该考虑地下深处与地表附近的区域地壳稳定性存在的变化, 在地下工程建设或地下矿产开发前, 应该充分重视区域地壳稳定性状况, 否则容易造成意外灾害损失与人员伤亡。

### 参 考 文 献

- 1 李四光, 地质力学方法。北京: 科学出版社, 1979
- 2 陈庆宣等, 中国构造体系的现今活动性。国际交流地质学术论文集 (1), 北京: 地质出版社, 1980
- 3 地质矿产部成都水文地质工程地质中心, 中国地质灾害类型图。北京: 地质出版社, 1991
- 4 地质力学研究所, 中华人民共和国及其毗邻海区构造体系图 (1: 250万)。北京: 地图出版社, 1984
- 5 黄汲清等, 中国大地构造及其演化。北京: 科学出版社, 1977
- 6 孙叶, 中国地质灾害类型划分与减灾对策的战略分析。中国地质灾害与防治学报, 1991, (4)
- 7 国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会, 中国岩石圈动力学概论。北京: 地震出版社, 1991
- 8 陈彭年等, 世界地应力实测资料汇编。北京: 地震出版社, 1990
- 9 国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会, 中国岩石圈动力学地图集。北京: 中国地图出版社, 1989
- 10 孙殿卿等, 地质力学与地壳运动。北京: 地质出版社, 1982

- 11 孙叶等,中国区域现今构造应力场与地壳运动趋势分析. 地质力学学报, 1995, 1(3)
- 12 冯德益等,模糊数学方法与应用. 北京:地震出版社, 1988
- 13 冯德益等,模糊数学在地震活动性图象中的应用. 地震学报, 1987, 9(1)
- 14 冯希杰等,区域稳定性评价量化与模糊评判. 西安地质学院学报, 1986, 8(4)

## QUANTITATIVE ASSESSMENT AND ZONATION OF REGIONAL CRUSTAL STABILITY IN CHINA

Sun Ye    Tan Chengxuan    Yang Guisheng  
(*Urban and Engineering Site Stability Research Center, CAGS*)

Wang Ruijiang  
(*Science and Technology Department, Ministry of Geology and Mineral Resources*)

**Abstract** China, as is located at the intersection of the circum-Pacific tectonic zone and the Mediterranean tectonic zone, has relatively strong active geological structures associated with various endogenic geological hazards. In this case it seems necessary to achieve a quantitative assessment and zonation of the regional crustal stability to better serve the economic construction and hazard reduction. The present paper attempts to present the methods to approach the problem in three steps based on the distribution of the main presently active structural systems and geological hazards as outlined in the text.

**Key words** regional crustal stability, quantitative assessment and zonation, fuzzy mathematics, assessment indices, assessment standard

### 第一作者简介

孙叶,男,1933年生,研究员,兼职教授。1955年毕业于东北地质学院地质矿产系,1963年在地质力学研究所第一届地质力学进修班学习。1955—1966年先后在长春地质学院、山东大学、山东海洋学院任教。1966年以来从事科研工作,主要进行现今构造应力场、区域地壳稳定性评价等方面的研究,现任中国地质科学院城市与工程场地稳定性研究中心负责人,国际岩石力学学会会员。通讯地址:北京通县燕郊三河镇。邮政编码:101601