

山东省潍坊市区域地壳稳定性分区与评价

万中杰

(山东省第四地质矿产勘查院, 山东 潍坊 261021)

摘要:潍坊市位于沂沭断裂带北段东西地堑之间,地质构造复杂,地震活动性强,开展区域地壳稳定性评价对潍坊市城市建设及远景规划具有重要意义。该文通过综合断裂、地震地质、构造应力场、工程地质、水文地质、地质灾害等方面的调查研究资料,以 ArcGIS 为平台,采用模糊数学评判方法,对潍坊市区域地壳稳定性进行了探讨。研究表明,潍坊市以不稳定区为主,面积约 8 139.053 km²,主要分布于沂沭断裂带两侧、端部、转折等部位;其次为稳定区,面积约 4 915.455 km²,主要分布在北部平原区以及南部山区;不稳定区面积 2 328.811 km²,主要分布在郟部-葛沟断裂和昌邑-大店断裂间中南部地段;较稳定区面积约 1 648.077 km²,主要分布在西部和东部山区、断裂之间。

关键词:地壳稳定性;综合评价;模糊数学;潍坊市

中图分类号:P546

文献标识码:B

引文格式:万中杰.山东省潍坊市区域地壳稳定性分区与评价[J].山东国土资源,2017,33(9):62-67. WAN Zhongjie. Zoning and Evaluation of Regional Crust Stability in Weifang City of Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2017,33(9):62-67.

0 引言

区域地壳稳定性评价是考虑内、外动力地质作用、岩土体介质及人类活动诱发或叠加的地质灾害等对工程建设的相互作用和影响下,现今地壳及表层的相对稳定程度,以地球内外动力地质灾害为研究对象^[1-3],是工程地质学的重要组成部分。区域地壳稳定性评价在重大工程场地选址、国土资源规划、减灾防灾等地质工作中发挥了积极的作用。

潍坊市位于山东半岛的中部,地处黄河三角洲高效生态经济区和山东半岛蓝色经济区两大国家战略经济区的重要交会处^[4-5],是近年来经济发展较快的地区之一,人口密度大,有许多大型交通建筑,且沂沭断裂带从研究区中部穿过,纵贯全区,因而对其地壳稳定性进行评价研究,有利于城市的规划和开发。该次在潍坊市城市地质调查的基础上^①,综合断裂、地震地质、构造应力场、工程地质、水文地质、

地质灾害等调查研究资料,以 ArcGIS 为平台,采用模糊数学评价模型,开展了潍坊市区域地壳稳定性评价研究,为城市建设及防灾减灾提供科学依据^[6]。

1 区域地质构造环境

1.1 区域构造

研究区位于山东半岛的中部,位于大地构造单元华北板块(I),跨华北拗陷区、鲁西隆起区和胶辽隆起区等3个II级构造单元,由济阳拗陷、沂沭断裂带和胶莱盆地等3个III级构造单元组成。区内断裂主要有NE向双山-李家庄断裂、安丘-莒县断裂、昌邑-大店断裂、沂水-汤头断裂、郟部-葛沟断裂、上五井断裂,它们与临朐及渤海南岸的NW向断裂相互交叉,并控制临朐-诸城及潍北2个第四纪断陷盆地^[7]。

1.2 地震活动

纵观近30年的地震平面分布图(图1),从研究

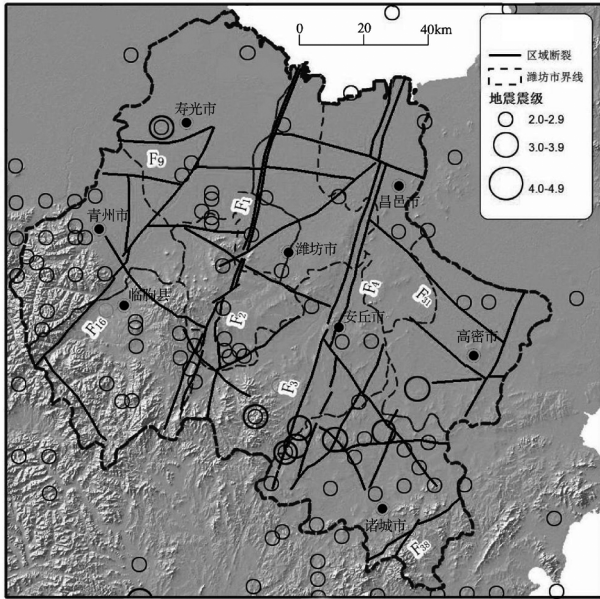
收稿日期:2017-02-06;修订日期:2017-06-16;编辑:王敏

基金项目:山东省潍坊城市地质调查项目,山东省地勘基金,编号:鲁勘字2010(18)、2012(8)、2013(15)

作者简介:万中杰(1966—),男,高级工程师,主要从事基础地质、环境地质研究及管理工作;E-mail:wanzhongjie@sddksy.com

①山东省第四地质矿产勘查院,山东省潍坊城市地质调查,2015年。

区的 4 条主干断裂上看地震大多集中于东部 2 条断裂带(昌邑-大店和安丘-莒县断裂),西部 2 条断裂带(郟部-葛沟和沂水-汤头断裂)上只有少量地震,而这少量地震又主要集中在一个特别部位:安丘西南、临朐以东的一个小范围内,即公元前 70 年 7 级地震震中区,而且有一组 NW 向构造(益都断裂带)在此与沂沭断裂带交会[7]。



F₁—郟部-葛沟断裂;F₂—沂水-汤头断裂;F₃—安丘-莒县断裂;
F₄—昌邑-大店断裂;F₉—齐河-广饶断裂;F₁₆—五井断裂;
F₃₁—北孟-高密断裂;F₃₈—青岛-五莲断裂

图 1 研究区地震与活动断裂图

1.3 地壳变形场

从图 1 中可以看出,NW 向的青州断裂以北为趋势性沉降区;以南为一醒目的隆起区,隆起范围在坊子、高密、诸城、安丘、临朐一带,最高值达 52.16 mm,年速率 5.88 mm/a。近几十年以来利用仪器测量现今大地构造变形特征取得了较多定量分析的实际资料。王华林等[8]对水准测量资料用动态平插法进行计算,绘制了区域垂直变形图(图 2)。

1.4 工程地质条件

根据地形地貌特征,将研究区划分为潍中南中低山丘陵、潍东低山丘陵和潍北平原等 3 个工程地质区。潍中南中低山丘陵工程地质区内分布坚硬较坚硬的泰山岩群变质岩、古生代碳酸盐岩及白垩纪、新近纪火山岩、碎屑岩,河谷阶地及山麓地带分布上层粘性土双层及粘性土单层结构为主的第四系更新统堆积物,工程地质性质良好。东部地区分布 NE

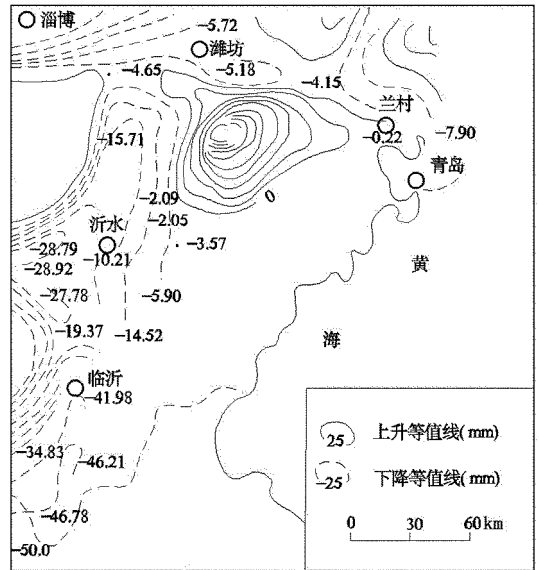


图 2 研究区近邻区垂直变形图

向沂沭断裂带,地震烈度 VII~VIII 度,为较不稳定区。区内存在水库坝基渗漏、边坡稳定性及震害等不良工程地质问题。

潍东低山丘陵工程地质区内分布新元古代及粉子山群变质岩、燕山期侵入岩、白垩纪喷出岩及中生代碎屑岩,土体以上层粘性土双层及粘性土单层结构为主,工程地质性质良好[9]。沂沭断裂带东侧,地震烈度 VIII 度,东部地区地震烈度 VI 度[9]。区内存在震害、黄土湿陷性、软弱夹层等不良工程地质问题。

潍北平原工程地质区第四纪地层广泛分布,南部山前平原土体以粘性土单层结构及上层粘性土双层或多层结构为主;北部滨海平原为上层砂性土多层结构,广泛分布淤泥类土及盐渍土,工程地质性质较差。该区位于沂沭断裂带北端,深部新构造断裂发育,地震烈度 VIII 度。区内存在湿陷性黄土、淤泥类土、砂土易震动液化层、震害等不良地段,以及盐渍土对金属管道的腐蚀等工程地质问题。

1.5 地质环境问题

研究区内地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流和采空塌陷。崩塌主要分布在研究区西南部中低山丘陵区,主要为矿山开采和工程建设;滑坡、泥石流主要分布在研究区南部的低山丘陵区,规模一般较小;采空塌陷主要分布在研究区南部及西部铁矿、煤矿、重晶石矿采空区,至 2013 年底,研究区各类矿山采空塌陷面积累计 35.2 km²[10]。

2 区域地壳稳定性评价的基本原则和方法

2.1 评价原则

研究区位于莱州湾南岸,属环渤海地区,该次评价原则同田培德^[11]和王丽瑛^[12]分别对环渤海地区和天津市进行的区域地壳稳定性评价。

2.2 综合评价方法

本次采用模糊数学综合评判模型对区域地壳稳定性进行研究^[13-18],具体方法如下:

根据区域地壳稳定性分级指标的要求,区域地壳稳定性评判集为:

$$V = \{ \text{稳定, 较稳定, 较不稳定, 不稳定} \}$$

用各指标进行评判,则分别得出各指标 R_i 在 V 上的模糊评判子集,记为:

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

n 个指标构成的模糊关系子集为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{i1} & r_{i2} & r_{i3} & r_{i4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & r_{n4} \end{bmatrix}$$

在众多评判指标中,其重要程度各不相同,用指标权重表示,则构成目标权重模糊子集为:

$$W = \{w_1, w_2, w_3, w_n\}$$

则综合评判结果为: $B = W \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4)$

将其应用于区域上的每一个单元,得到 4 个稳定性级别的隶属度,按最大隶属度原则确定其稳定性级别^[13-18]。

2.3 评价指标的选定

影响一个地区区域稳定性的主要因素包括构造稳定性、岩土体稳定性和地面稳定性,因此评价区域稳定性也应从这 3 个方面考虑,这也是区域稳定性分区的基本原则^[19]。其中构造稳定性影响因素为地震峰值加速度(f_1)、活动断裂(f_2)、现代构造应力场(f_3)、现今地壳形变(f_4),岩土体稳定性为岩土体结构及特征(f_5),地面稳定性为地质灾害易发性(f_6)。其中地震动峰值加速度(f_1)主要影响未来地震基本烈度;活动断裂(f_2)主要考虑活动断裂的长度和深度、最新活动年龄、活动方式和活动强度^[20];现代构造应力场(f_3)主要考虑现今构造应力作用方向、大小、集中程度,用地质体潜在安全度来表示对研究区地壳稳定性的影响程度;现今地壳形变(f_4)主要考虑现今地壳垂直形变速率,具体表现为地面沉降和隆升;岩土体结构及特征(f_5)主要考虑新近

纪和第四纪地层厚度、岩土体工程地质特征等;地质灾害易发程度(f_6)主要考虑研究区表生地质灾害发生的可能性。

2.4 各指标权重的选定

本次指标权重是在孙叶^[17]完成的“中国区域地壳稳定性量化评价与分区”的基础上,根据建立的潍坊市区域地壳稳定性评价体系,采用层次分析法确定的,两个要素重要性之比采用 1~9 标度法(图 3,表 1,表 2)。

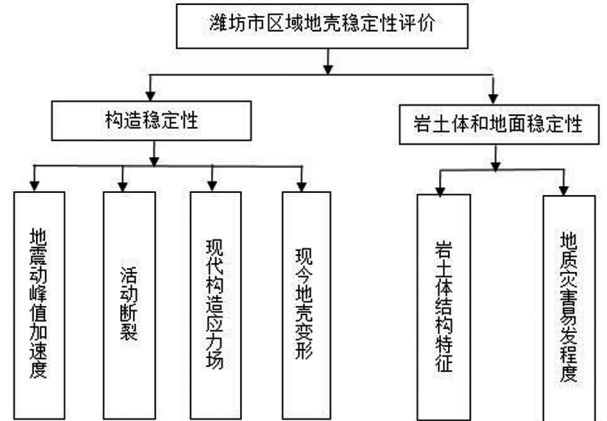


图 3 研究区区域地壳稳定性评价模型

表 1 层次分析法计算结果

1.潍坊市区域地壳稳定性评价 判断矩阵一致性比例:0.0000;对总目标的权重:1.0000; \lambda_{max}:2.0000					
区域地壳稳定性评价	构造稳定性	岩土体和地面稳定性	Wi		
构造稳定性	1	3	0.7500		
岩土体和地面稳定性	1/3	1	0.2500		
2.构造稳定性 判断矩阵一致性比例:0.0265;对总目标的权重:0.7500; \lambda_{max}:4.0709					
构造稳定性	地震动峰值加速度	活动断裂	现代构造应力场	现今地壳变形	Wi
地震动峰值加速度	1	2	2	3	0.4203
活动断裂	1/2	1	2	2	0.2685
现代构造应力场	1/2	1/2	1	2	0.1899
现今地壳变形	1/3	1/2	1/2	1	0.1213
3.岩土体和地面稳定性 判断矩阵一致性比例:0.0000;对总目标的权重:0.25; \lambda_{max}:2.0000					
岩土体和地面稳定性	岩土体结构特征	地质灾害易发程度	Wi		
岩土体结构特征	1	1	0.5000		
地质灾害易发程度	1	1	0.5000		

表 2 评价因子权重

评价因子	权重	评价因子	权重
地震动峰值加速度	0.3152	现今地壳变形	0.0910
活动断裂	0.2014	岩土体结构特征	0.1250
现今构造应力场	0.1424	地质灾害易发程度	0.1250

2.5 评价指标标准的确定

各指标采用统一的评价标准,并且其隶属度函

数采用一元函数,在计算过程中由计算机自动完成。各评价指标的数值化在 0~10 之间变化,量值越小反映地壳稳定程度越好,量值越大反映地壳越不稳定(表 3,表 4)。

表 3 评价分级标准^[12]

稳定性分区	稳定区	较稳定区	较不稳定区	不稳定区
评价分值	0~3.0	3.1~5.0	5.1~7.0	7.1~10.0

表 4 区域地壳稳定性模糊数学评价指标标准

稳定性	地震动峰值加速度(f1)	活动断裂(f2)	现代构造应力场(f3)	现今地壳形变(f4)	岩土体结构及特征(f5)	地质灾害易发性(f6)
稳定区	$\leq 0.05g$	按断裂深度和产状在地表断裂两侧投影范围以外的地区,这些地区远离活动断裂带,无活动断裂通过	地质体潜在安全度 $F_s \geq 4.0$	地面垂直运动量为 0~20mm	地质体为各种坚硬的基岩	地质灾害不易发区
较稳定区	0.10g~0.15g	按断裂深度和产状在地表断裂两侧投影范围边界附近,无活动断裂通过	地质体潜在安全度 $3.0 \leq F_s < 4.0$	地面垂直运动量为 20~30mm	地质体为各种半胶结的岩类和碎裂岩类	地质灾害低易发区
较不稳定区	0.15g~0.20g	按断裂深度和产状在地表断裂两侧投影范围之内,断裂多次活动,但现今活动并不强烈,以及非断裂之端点、拐点、交叉部位	地质体潜在安全度 $1.5 \leq F_s < 3.0$	地面垂直运动量为 30~40mm	地质体为各种的松散碎石土、松散的中粗砂砾、松散的粘土(包括黄土)	地质灾害中等易发区
不稳定区	$\geq 0.20g$	按断裂深度和产状在地表断裂两侧投影范围之内,断裂多次活动,以及活动断裂的端点、拐点、交会复合处 ^[13]	地质体潜在安全度 $F_s < 1.5$	地面垂直运动量 $\geq 40mm$	地质体为各类特殊土,包括软粘土、饱和软粘土、松散粉细砂、饱和粉细砂、淤泥、淤泥质土、人工填土等	地质灾害高易发区

3 结果分析

通过上述方法选择与分析研究,得出综合评价结果(图 4,表 5)。将此评价结果与田培德^[11]完成

一致的,说明本次评价方法是正确的,结论是可信的。

从评价分区结果看(表 5),潍坊市以不稳定区为主,面积约 8 139.053 km²,主要分布于沂沭断裂带两侧、端部、转折等部位;其次为稳定区,面积约 4 915.455 km²,主要分布在北部平原区以及南部山区;不稳定区面积 2 328.811 km²,主要分布在郟部-葛沟断裂和昌邑-大店断裂间中南部地段;较稳定区面积约 1 648.077 km²,主要分布在西部和东部山区、断裂之间。

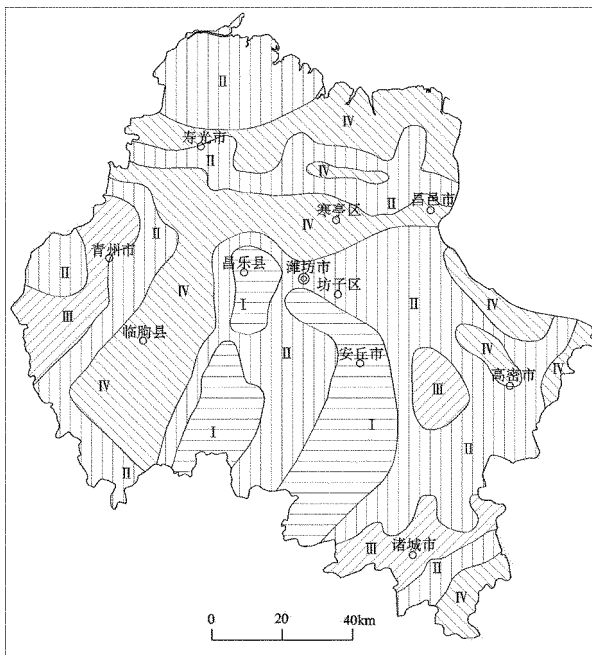


图 4 研究区区域地壳稳定性评价分区图

的环渤海地区区域地壳稳定性分区与评价结果相比较(研究区北部属环渤海地区),其评价分区大概是

4 结语

(1)研究区主要为较不稳定区和不稳定区,占总面积的 61.46%,主要分布在沂沭断裂带两侧,该区域断裂活动性强,地震动峰值加速度较大,现代构造应力场有集中现象,且位于南部山区,易发生地质灾害。稳定区和较稳定区主要分布在平原区,该区域第四系厚度较大,断裂活动性差,地震动峰值加速度相对较小,不易发生地质灾害。

(2)研究区有沂沭断裂带从中部北东向穿过,尤其在研究区中心城区有郟部-葛沟断裂和沂水-汤头断裂从人口密集的城区穿过,有可能形成所谓的“直下型地震”,需要进一步开展断裂活动性专题调查研究。

表 5 研究区区域地壳稳定性分区

稳定级别	面积 (km ²)	占比 (%)	分区编号	面积 (km ²)	位置	主要特征
稳定区 (I)	4915.455	28.86	I 1 - I 5 I 7	4626.827	北部滨海平原区、寿光市—寒亭区南部冲洪积平原区、高密市北部、东部平原区以及五井断裂 (F ₁₆)、郟部—葛沟断裂 (F ₁) 之间	该区北部属平原区,地势平坦,断裂活动性低,区域地壳变形量小,地质体潜在安全度极低,整体稳定性好。该区西部属基岩山区,断裂活动性低,工程地质岩性较好,区域地震活动较低,区域地壳变形量小,地质体潜在安全度极低,整体稳定性好
			I 6	288.628	诸城市南部山区,青岛—五莲断裂 (F ₃₈) 以南地区	该区属东南部基岩山区,该区断裂活动性低,工程地质岩性好,区域地震活动较低,区域地壳变形量小,地质体潜在安全度极低,整体稳定性好
较稳定区 (II)	1648.077	9.68	II 1	724.81	青州市西部山区,五井断裂 (F ₁₆) 以西地区	该区主要包括西部基岩山区和部分山前平原区,工程地质岩性较好,断裂活动性极低,区域地震活动低,整体稳定性较好
			II 2	333.465	高密市西部地区,景芝—贾悦断裂 (F ₅) 与兰底—东化山断裂 (F ₇) 之间	该区主要为山前平原区,地势平坦,断裂活动性极低,区域地壳变形量小,区域地震活动中等,地质体潜在安全度较低,整体稳定性较好
			II 3	589.802	诸城市中南部山区,百尺河—二十五里乔断裂 (F ₁₃) 与青岛—五莲断裂 (F ₃₈) 之间地区	该区属南部基岩山区,断裂活动性低,区域地震活动性中等,区域地壳变形量小,工程地质岩性较好,地质灾害发生可能性较低,整体稳定性较好
较不稳定区 (III)	8139.053	47.79	III 1、III 2	2116.24	寿光市北部平原区,齐河—广饶断裂 (F ₉) 以北地区	该区属北部平原区,地势平坦,断裂活动性极低,区域地壳变形量小,工程地质岩性较差,地质灾害发生可能性较大,区域地震活动低,整体稳定性较差
			III 3、III 4	1375.804	青州市西南部山区、临朐市西部山区,五井断裂 (F ₁₆) 两侧地区	该区属西部基岩山区,断裂活动性较强,区域地壳变形量中等,工程地质岩性较差,地质灾害发生可能性较大,区域地震活动性中等,整体稳定性较差
			III 5	4357.59	中东部、南部山区,五井断裂 (F ₁₆) 与郟部—葛沟断裂 (F ₁) 之间,沂水—汤头 (F ₂) 与安丘—莒县断裂 (F ₃) 之间,景芝—贾悦断裂 (F ₅) 以东大部分地区	该区包括中部山前平原区和南部基岩山区。该区断裂活动性较强,区域地震活动性中等,地质体潜在安全度较低,区域地壳变形量小,整体稳定性较差
			III 6	289.419	诸城市南部山区,百尺河—二十五里乔断裂 (F ₁₃) 与青岛—五莲断裂 (F ₃₈) 之间地区	该区属南部基岩山区,断裂活动性较强,区域地壳变形量小,工程地质岩性好,地质体潜在安全度低,区域地震活动性中等,整体稳定性较差
不稳定区 (IV)	2328.811	13.67	IV 1	327.741	昌乐县东北部、中心城区西南部交界地区,郟部—葛沟断裂 (F ₁) 与沂水—汤头 (F ₂) 中部两侧地区	该区属于中部山前平原区,断裂活动性强,地质体潜在安全度极低,现代构造应力场有集中现象,区域地震活动极强,区域地壳变形量小,稳定性极差
			IV 2	584.969	临朐县东部、昌乐县西南部交界地区,郟部—葛沟断裂 (F ₁) 与沂水—汤头 (F ₂) 南部两侧地区	该区属于南部山区,断裂活动性极强,地质体潜在安全度极低,现代构造应力场有集中现象,区域地震活动极强,区域地壳变形量较小,地质灾害发生可能性极大,整体稳定性极差
			IV 3	1416.101	中心城区东南部、安丘市西北部交界地区,安丘—莒县断裂 (F ₃) 与昌邑—大店断裂 (F ₄) 中南部两侧地区	该区属于南部山区,断裂活动性极强,地质体潜在安全度极低,现代构造应力场有集中现象,区域地震活动极强,区域地壳变形量较大,地质灾害发生可能性极大,整体稳定性极差 ^[21]

(3) 针对区域地壳稳定性评价结果,在下一步城市规划布局、工程建设上应相应的调整用地性质或采取适当的工程处理措施等,为潍坊市城市资源开发、地质灾害防治提供了重要的基础资料。

参考文献:

- [1] 胡海涛,殷跃平.区域地壳稳定性评价“安全岛”理论及方法[J].地学前缘,1996,3(1-2):57-68.
- [2] 胡海涛,殷跃平.区域地壳稳定性评价的“安全岛”理论及方法[J].地质力学学报,2001,7(2):97-103.
- [3] 柴建峰,朱时杰,伍法权,等.区域地壳稳定性研究现状与趋势[J].工程地质学报,2004,12(4):401-407.
- [4] 国家发改委.黄河三角洲高效生态区发展规划.2009.
- [5] 国家发改委.山东半岛蓝色经济区发展规划.2011.
- [6] 黎清华,杨海巍,金维群.三峡—丹江口及邻区区域地壳稳定性的模糊数学评价[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):634-639.

- [7] 王金辉,王方建,祝培刚.遥感技术在潍坊地区地壳稳定性评价中的应用[J].华北地震科学,2007,25(4):11-17.
- [8] 王华林,王永光,刘希强,等.渤海及周围地区断裂构造与强震活动研究[J].地震研究,2000,23(1):35-43.
- [9] 李念春.山东半岛蓝色经济区地质环境特征分析及其承载力评价研究[J].山东国土资源,2016,32(7):35-41.
- [10] 高峰,林存菊,于德杰.山东省山丘区地质灾害特征[J].山东国土资源,2014,30(8):42-46.
- [11] 田培德,王兰化,王丽瑛.环渤海地区区域地壳稳定性分区与评价[J].地质调查与研究,2005,28(1):47-55.
- [12] 王丽瑛.天津市区域地壳稳定性评价研究[D].北京:中国地质大学(北京),2007.
- [13] 杜建军,马寅生,谭成轩,等.京津地区区域地壳稳定性评价[J].地球学报,2008,29(4):502-509.
- [14] 冯德益.模糊数学方法及其应用[M].北京:地震出版社,1998.
- [15] 谭成轩,胡道功,冯希杰.长江三峡工程库首区地壳稳定性模糊数学综合评价[J].工程地质学报,1997,5(3):193-198.
- [16] 张俊福.应用模糊数学[M].北京:地质出版社,1991.
- [17] 孙叶,谭成轩,杨贵生.中国区域地壳稳定性定量评价与分区[J].地质力学学报,1997,3(3):42-52.
- [18] 杨湘奎,丁继双,初禹,等.哈尔滨地区地壳稳定性研究[J].水文地质工程地质,2012,39(3):97-107.
- [19] 龚伟,隋志龙,曾佐勋.宿迁-南京地区区域构造稳定性分区[J].安全与环境工程,2009,16(6):1-4.
- [20] 韩金良,吴树仁,李东林,等.三峡水库引水工程(方案)秦巴段地壳稳定性评价研究[J].地质学报,2009,83(2):196-207.
- [21] 龚红胜,朱杰勇,陈刚.昆明市活动断裂与地质灾害关系的探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(3):161-164.

Zoning and Evaluation of Regional Crust Stability in Weifang City of Shandong Province

WAN Zhongjie

(No.4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China)

Abstract: Weifang city is located between east and west grabens in north of Yishu fault belt with complex geological structures and strong seismic activities. It is of great significance to the construction of the city to carry out the assessment of regional crust stability and the prospect planning of Weifang city. In this paper, through comprehensive survey of faults, earthquake geology, tectonic stress, engineering geology, hydrogeology and geological disasters, taking ArcGIS as the platform, using the method of fuzzy mathematics, regional crust stability in Weifang city has been studied. It is showed that Weifang city is in the unstable region. The square is about 8139.053km^2 , and mainly distributed on both sides, the end and the turning parts of the fault zone. The square of the stable region is about 4915.455km^2 , and mainly distributed in the plain areas in the north and mountainous areas in the south. The square of unstable area is 2328.811km^2 , and mainly distributed in Tangwu—Gegou fault and Changyi—Dadian fracture between central and southern regions. The square of stable area is about 1648.077km^2 , and mainly distributed in the western and eastern mountains between the fracture.

Key words: Crust stability; comprehensive evaluation; fuzzy mathematics; Weifang city