

哈尔滨地区地壳稳定性研究

杨湘奎¹, 丁继双¹, 初禹¹, 张玉敏^{1,2}, 李欣桐¹

(1. 黑龙江省地质调查研究总院, 哈尔滨 150036; 2. 吉林大学地球科学学院, 长春 130000)

摘要: 客观评价城市区域地壳稳定性, 对于城市安全与可持续发展有着极其重要的意义。哈尔滨城市地质调查系统地研究了哈尔滨地区的莫霍面深度、地球物理场、火成岩特征及历史地震记录, 并开展大地电磁测深、钻探及汞气测量研究, 认为哈尔滨地区地壳结构连续、完整、稳定, 不会发生中等强度及以上地震活动。

关键词: 地壳结构; 地壳稳定性; 断裂构造; 地震活动

中图分类号: P553

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2012)03-0097-05

早在20世纪六七十年代, 李四光教授就曾提出在活动构造带内选择相对稳定的安全岛作为工程建设基地和场址的重要论点^[1], 这一论点已成为我国重大工程选址和区域地壳稳定性评价工作的一种指导思想^[2], 并取得很多重要成果^[3~5]。因此城市地壳结构特征及稳定性的研究, 对城市建设、远景规划、重大工程的选址及城市安全等具有十分重要的意义^[6]。

2007年, 黑龙江省国土资源厅、财政厅与哈尔滨市政府联合启动了哈尔滨城市地质调查工作, 并得到中国地质调查局的支持与指导。该项目以哈尔滨市区为研究区, 面积10 198 km²。本文引用的数据基于该项工作的活动断裂与区域地壳稳定性评价子课题。

1 区域大地构造位置及地质背景

研究区位于吉—黑陆块西部的松辽拗陷。松辽拗陷是奠基在吉—黑陆块上的中生代断陷盆地, 总体上呈NNE向展布。该陆块南与华北地台相邻, 西依内蒙—大兴安岭褶皱系。松辽拗陷最老基底为晚元古代的一面坡群及花岗岩, 早古生代处于抬升隆起, 上石炭统至上三叠统为一套陆海—陆相沉积, 部分地区有晚印支期花岗岩, 经晚印支运动后, 形成上叠拗陷带, 燕山旋回, 在区内表现为以断裂活动为主, 拗陷两侧受断

裂控制^[7]。自中生代中期开始大面积沉降, 伴随沉降运动的加剧, 沉积了巨厚的白垩系陆相碎屑岩, 新近纪、古近纪缓慢上升隆起, 故缺失新近系、古近系地层, 进入第四纪, 地壳间歇性升降运动, 堆积了第四系松散沉积物。

2 区域地壳结构特征

2.1 莫霍面特征

研究区周边分布四条深断裂带^[8](图1), 分别为东侧(距哈尔滨市区约110 km)依—舒岩石圈断裂, 沿NNE向分布, 莫霍面等深线密集, 深度约为31~40 km, 该断裂曾发生过6级地震; 西侧(距哈尔滨市区约120 km)松辽岩石圈断裂, 沿NNE向分布, 莫霍面等深线较为密集, 深度约为33~36 km, 曾发生过5级地震; 南侧(距哈尔滨市区约110 km)扶余地壳断裂, 呈NW向分布, 曾发生过7级地震; 北侧(距哈尔滨市区约110 km)塔溪—林口岩石圈断裂, 呈NW向延伸, 莫霍面等深线较为密集, 深度约为33~36.5 km, 曾在绥化地区发生过2次6级地震。上述4条深大断裂构成一个面积约为 5.5×10^4 km²近方形的地质块体, 而研究区恰在地质块体的中部, 且块体内莫霍面深度均一, 约为33 km, 表明块体内地壳是连续、完整的, 不存在地壳断裂和岩石圈断裂。

2.2 重力场特征

研究区东侧的依—舒岩石圈断裂(图2), 为区域重力异常梯级带, 重力异常数值为 $5 \times 10^{-5} \sim -45 \times 10^{-5}$ m/s²之间, 平均变化梯度约为 3×10^{-5} m/(s²·km); 研究区北侧, 即塔溪、北安、绥化、通河至林口一线, 为区域重力异常梯级带, 重力异常数值为 $-5 \times 10^{-5} \sim -35 \times 10^{-5}$ m/s²之间, 平均变化梯度约为 1×10^{-5} m/(s²·km); 研究区西侧, 即大安、大庆、德都一线, 为区域重力

收稿日期: 2011-11-25; 修订日期: 2012-01-06

基金项目: 黑龙江省国土资源厅、财政厅、哈尔滨市政府公益性项目“哈尔滨城市地质调查”(SDK2006-001); 中国地调局项目“黑龙江1:5万哈尔滨市、呼兰县、对青山、万家岗区调”(1212010881210)

作者简介: 杨湘奎(1966-), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质研究。

E-mail: yxkhj@163.com

异常梯级带,重力异常数值 $-5 \times 10^{-5} \sim -25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间,平均变化梯度约为 $1 \times 10^{-5} \text{ m/(s}^2 \cdot \text{km)}$ 。

以上三条区域重力异常梯级带同时也是黑龙江省内的深大断裂带,这也正是物质密度差异的断层台阶

带的一种反映。而研究区及周边块体没有重力高、低密集区及线性梯级带,整个块体处于均衡舒缓状态,这正与莫霍面特征相互佐证,说明块体内不可能存在地壳断裂和岩石圈断裂,地壳连续、完整。

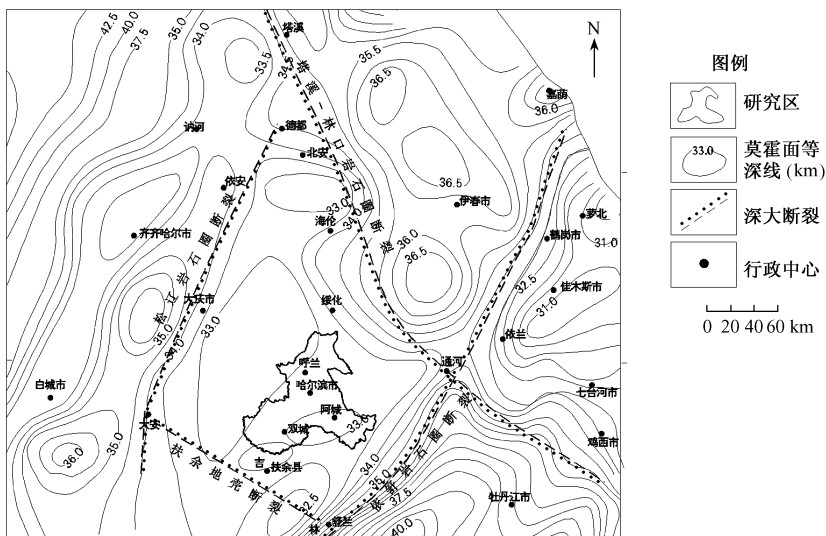


图 1 哈尔滨及周边莫霍面等深线图(据黑龙江省区域地质志)

Fig.1 Contour map showing the Moho depth in Harbin and the surrounding regions

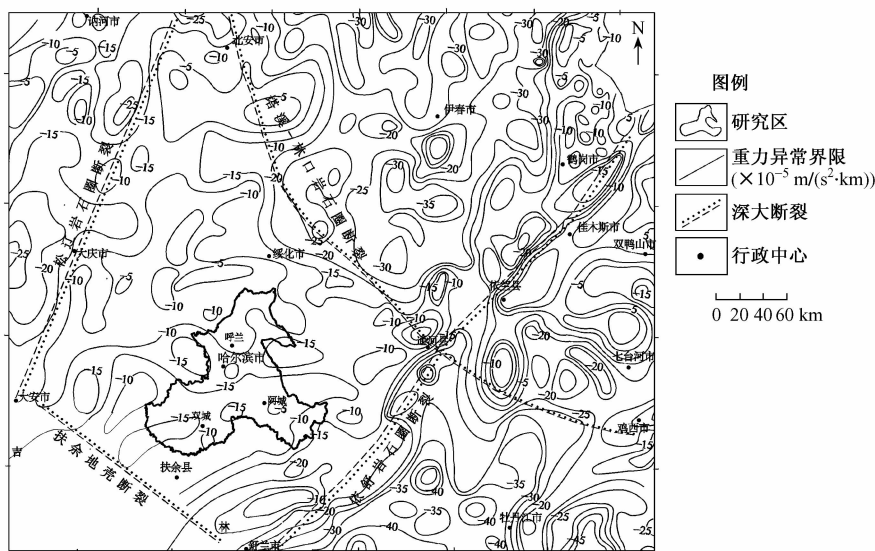


图 2 哈尔滨及周边重力异常平面图(据黑龙江省重力异常图)

Fig.2 Gravity anomaly map in Harbin and the surrounding regions

2.3 地震活动标志

近年来,国内外在地壳稳定性评价中,常常进行地震危险性分析、评价,确定潜在震源区和各震源区预期可能发生的最大地震的震级^[9],以及地震分布规律。

在研究区外围 150km 内 $M_s \geq 4.7$ 级的地震主要

有 15 次(1119 ~ 2003 年),其中 M_s 为 4.0 ~ 4.9 级地震 4 次, M_s 为 5.0 ~ 5.9 级地震 8 次, M_s 为 6.0 ~ 7.0 级地震 3 次。从震中分布图(图 3)可以看出,绝大多数中强地震分布显示出一定的成丛性和条带性,明显受断裂构造走向控制:

(1)中强地震沿深大断裂带分布,如 1941、1942

年绥化的两次 6.0 级地震及 1986 年德都 4.7~5.5 级的 3 次地震均是沿塔溪—林口岩石圈断裂分布;1918、1963 年萝北北部 4.7、5.8 级地震,1937 年吉林缸窑的 5.0 级地震,1956 年嘉荫 5.0 级地震,1960 年吉林榆树的 5.8 级地震均发生在依—舒岩石圈断裂上。

(2) 深大断裂的交汇部位是地震易发点,如 1986 年德都发生的 3 次 4.7~5.5 级地震,均是发生在松辽岩石圈断裂与塔溪—林口岩石圈断裂的交汇部位。

(3) 地震具有成丛分布的特点,研究区的中强地震主要分布在伊春、绥化、嘉荫、萝北、德都等地。

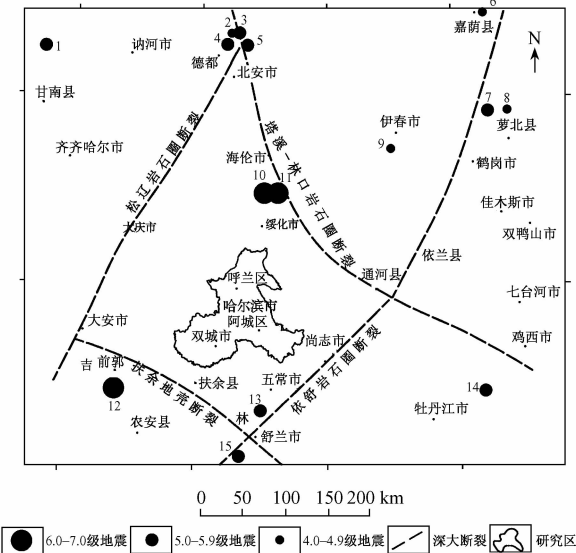


图 3 研究区中强地震震中分布图
(1119-2003, $M_s \geq 4.7$ 级)

Fig. 3 Distribution of the epicenter of moderate to strong (from 1119 to 2003, $M_s \geq 4.7$ 级)

2.4 磁异常特征

由研究区磁异常平面图(图 4)可以看出,阿什河断裂(哈尔滨—玉泉一线)及蜚克图断裂处磁异常等值线较为密集,呈 NW 向线状分布,为磁异常梯级带,磁异常数值在 -200~500nT 之间,平均变化梯度约为 50nT/km;二道河断裂处磁异常等值线为正负磁异常的过渡带,过渡带呈 NNE 向分布,与断裂走向基本一致,而其它地区磁异常没有出现线状、串珠状等梯级带,磁异常不明显,且磁异常数值均小于 500nT,说明研究区多为沉积地层。结合大地电磁测深数据可以确定阿什河断裂、蜚克图断裂、二道河断裂为基底断裂。

2.5 研究区内断裂特征及其活动性

通过大地电磁测深工作及综合研究,查明了研究区内断裂的类型及特征(表 1)。本次以研究区内最大

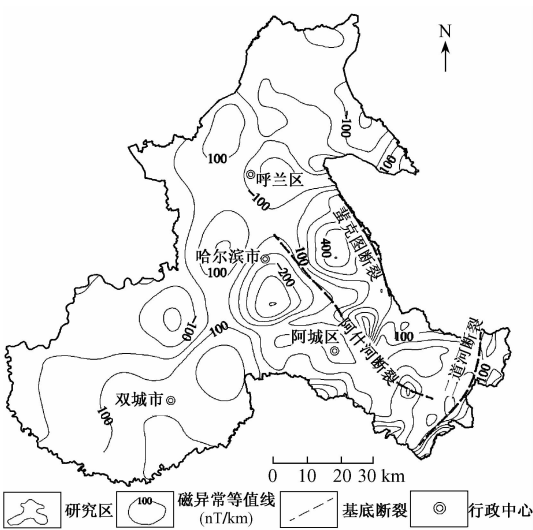


图 4 哈尔滨地区磁异常平面图

Fig. 4 Magnetic anomaly map in the Harbin area

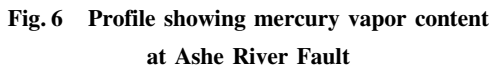
的断裂——阿什河断裂为例进行研究。

表 1 哈尔滨地区断裂类型				
Table 1 The type of faults in Harbin area				
断裂名称	深度	火成岩	地震级别	类型
阿什河断裂	大于 4km			
蜚克图断裂	大于 3km	花 岗 岩	4.5	基底断裂
二道河断裂	大于 3km			
团山子断裂	0.2~0.5km			
运粮河断裂	0.5~1.2km			
拉林河断裂	0.2~0.5km	无	无	盖层断裂
双城—平房断裂	0.4~0.8 km			
松花江南断裂	1~2km			

阿什河断裂走向 NW30°,倾向 NE60°,倾角大于 70°,贯穿整个研究区,断裂全长 117km,宽度在 0.5~0.8km 之间。由阿什河断裂中段电磁测深视电阻率断面图(图 5)可以看出,在深度 1 000m 处就出现电阻率高于 1 000Ω·m 的区域,断裂处明显为高—低电阻率过渡区,为阿什河断裂活动造成的破碎带。在电磁测深剖面处还有构造钻孔(GZ08-1)控制,深度 300m,主要为白垩系泉头组地层,岩芯破碎程度不高。结合全区电磁测深剖面及钻孔综合研究,认为阿什河断裂在晚白垩世和印支晚期之间活动过,但晚白垩世断裂活动不强烈。

在阿什河断裂沿线进行的汞气测量结果显示,汞气含量峰值达 100ng/m³(图 6),哈尔滨地区背景值^[7]为 41.9 ng/m³,所以可以确定阿什河断裂近期的活动性很微弱。

根据研究区内断裂的规模、类型及活动性,可以确定研究区内的断裂对地壳稳定性影响较小。



根据区域地质资料,研究区内未发现表征岩石圈断裂超基性岩和地壳断裂基性岩分布;仅在阿什河断裂、蜚克图断裂带和二道河断裂处,出现中酸性火成岩、花岗闪长岩等,表明研究区内没有岩石圈断裂及地壳断裂,这正与区域莫霍面特征、重力场特征相互佐证,说明研究区地壳连续、完整。

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。

根据区域地壳稳定性分级指标的要求,综合区域地壳稳定性级别评价集为:

用各指标进行评判, 则分别得出各指标 X_i 在 V 上

4 结论

(1) 研究区位于由塔溪—林口、依一舒、松辽岩石圈断裂及扶余地壳断裂所包围的块体上, 块体面积约 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 块体内部莫霍面深度均一, 没有重力高、低密集区及线性梯级带, 整个区域处于均衡舒缓状态, 地壳连续、完整, 且四条深大断裂为块体的应力释放带和天然屏障。

表 2 哈尔滨地区区域地壳稳定性模糊数学评价等级和指标

评价指标权重	评价等级和指标			
	稳定	较稳定	较不稳定	不稳定
	7.5	6	4.5	3
地壳结构(0.25)	块状	镶嵌	块裂	
活动断裂特征(0.25)	早更新世活动断裂,活动规模小,不存在深断裂。	中更新世—晚更新世中、晚期活动断裂,长度一般小于 30km。	晚更新世晚期至今有过活动,长度 > 100km,深断裂带地震 $M_s \geq 6$ 级,产生地裂缝,深断裂带内或其附近深断裂区。	
最大应力与断裂走向夹角 α (0.2)	$\alpha_1 = 0^\circ \sim 10^\circ$ $\alpha_2 = 71^\circ \sim 90^\circ$	$\alpha_1 = 11^\circ \sim 24^\circ$ $\alpha_2 = 51^\circ \sim 70^\circ$	$\alpha_{1(2)} = 25^\circ \sim 50^\circ$	
地温梯度值($^\circ\text{C}/100\text{m}$)(0.1)	<2.0	2.0~3.5	>3.5	
重力梯度值($\times 10^{-5}\text{m}/(\text{s}^2 \cdot \text{km})$)(0.1)	$B_s < 0.6$	$B_s = 0.6 \sim 1.0$	$B_s > 1.10$, 多为 1.2~2.0	
震级(M_s)(0.1)	$\leq 5^{1/4}$	$5^{1/4} \sim 5^{3/4}$	6~7	$\geq 7^{1/4}$

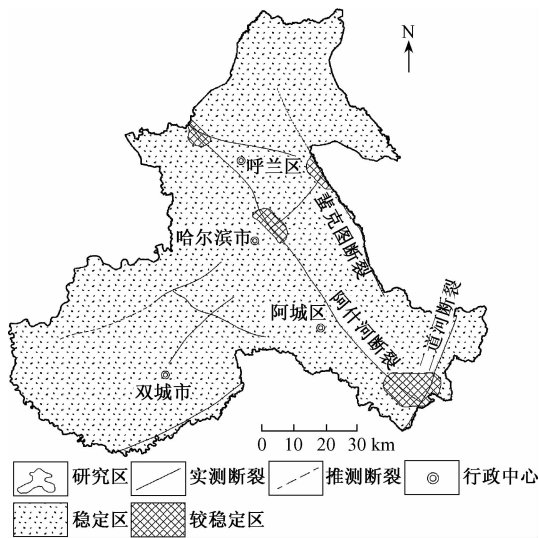


图 7 哈尔滨地区区域地壳稳定性评价图
Fig.7 Evaluation of the regional crustal stability in the Harbin area

(2)大多数中强地震分布具有成丛性和条带性,基本沿深大断裂构造带及结合部位分布,而研究区内没有深大断裂。

(3)研究区内共有八条断裂,其中阿什河断裂、蜚克图断裂及二道河断裂为基底断裂,其余为盖层断裂,其对地壳稳定性影响较小。

(4)哈尔滨地区以稳定区为主,局部为较稳定区,不存在较不稳定区和不稳定区。

综上所述,哈尔滨地区地壳结构连续、完整、稳定,重力场均衡,无岩石圈断裂和地壳断裂,不会发生中等强度及以上地震活动。

致谢:研究过程中得到黑龙江省九零四水文地质工程

地质勘察院教授级高级工程师初本君的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] 李四光. 论地震[M]. 北京:地质出版社,1977. [LI S G. Concerning earthquake [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1997. (in Chinese)]

[2] 胡海涛. 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. [HU H T. The theory and method of evaluation of regional crustal stability based on concept of “safe island” [J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7(2):97-103. (in Chinese)]

[3] 陈庆宣. 探索区域地壳稳定性评价途径[J]. 第四纪研究, 1992(4):289-292. [CHEN Q X. An approach to assessment of regional crustal stability [J]. Quaternary Sciences, 1992(4):289-292. (in Chinese)]

[4] Chen Qingxuan. Proceedings of regional crustal stability and geological hazards [C]. Beijing: China Daily,1989.

[5] Chen Qingxuan. Proceedings of regional crustal stability and geological hazards [C]. Beijing: Seismological Press,1991.

[6] 丁泰. 广州市区域地壳稳定性评价[J]. 中山大学研究生学刊,2009,30(4):83-94. [DING T. The evaluation of regional crustal stability in Guangzhou City [J]. Journal of the graduates Sun Yat-Sen University,2009,30(4):83-94. (in Chinese)]

(下转第 107 页)

Deformation characteristic analysis of the Maocaopo slope in the Wu Gorge of the Three Gorges Reservoir

CHEN Xiao-ting^{1,2}, HUANG Bo-lin², LIU Guang-ning²

(1. *National Professional Laboratory of Geological Hazards Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*
2. *Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430223, China*)

Abstract: The paper is based on the rock mass geo-engineering background of the Maocaopo slope. Detail survey reveals some phenomena, including topple, shear, slip and tension, which have certain characteristics showing special meaning. After analyzing the deformation phenomena and monitoring data, the conclusion that the unstable slope deforming mode shows change characteristics, which change from toppling-tension mode to slipping-tension mode. The impounding and periodic adjustment in the Three Gorges Reservoir results in water fluctuation zone in the foot of the Maocaopo slope. This is not good to the stability of the Maocaopo slope and accelerates the development of the slope.

Key words: Three Gorges Reservoir; Maocaopo slope; topple; slip; water fluctuation zone

责任编辑:汪美华

(上接第 101 页)

- [7] 薄景山. 哈尔滨市轨道交通一期工程场地地震安全性评价[R]. 北京:地震出版社,2003. [BO J S. Harbin city rail transit a phase of the project site seismic safety evaluation [R]. Beijing: Earthquake Publishing House,2003. (in Chinese)]
- [8] 刘俊杰,刘荣芝,伦志强,等. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993. [LIU J J, LIU R Z, LUN Z Q, *et al.* Regional geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing: The Geological Publishing House,1993. (in Chinese)]
- [9] Evison F. Seismic Hazard Assessment in Continental

Areas [C]// Internationnal Symposium on Continental Seismicity and Earthquake Prediction. Beijing : Seismological Press, 1984:751 - 762.

- [10] 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. [TAN C X, HU D G, FENG X J. Assessment on crustal stability in the dam area of the Three Gorges Projects(TGP) on The Yangtze River using fuzzy mathematics [J]. Journal of Engineering Geology, 1997, 5 (3): 193 - 198. (in Chinese)]

A study on crustal stability of the Harbin area

YANG Xiang-kui¹, DING Ji-shuang¹, CHU Yu¹, ZHANG Yu-min^{1,2}, LI Xin-tong¹

(1. *Geological Survey Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China;*
2. *School of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130000, China*)

Abstract: Objective evaluation of regional crustal stability in a city is of vital significance to safety and sustainable development of the city. Geological survey in Harbin was conducted to examine the the Moho depth, geophysical field, igneous rocks and historical earthquake records, and in Harbin the magnetotelluric sounding, drilling and mercury vapor survey were carried out. The research results show that the crust structure in Harbin is continuous, complete and stable, and earthquake activities of more than moderate intensity will not occur.

Key words: crustal structure; crustal stability; fracture structure; seismic activity

责任编辑:汪美华