

CNIC-01403
BRIUG-0048

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

我国高放废物处置库甘肃北山预选区地壳稳定性研究
STUDY ON THE REGIONAL CRUST STABILITY OF
BEISHAN AREA, GANSU PROVINCE,
NORTHWESTERN CHINA—A PRESELECTED
AREA FOR CHINA'S HIGH LEVEL RADIOACTIVE
WASTE REPOSITORY

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01403, BRIUG-0048: 我国高放
废物处置库甘肃北山预选区地壳稳定性研究/王驹等著. —
北京: 原子能出版社, 1999. 10

ISBN 7-5022-2066-6

I. 中… II. 王… III. 核技术-中国-研究报告 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 47073 号

原子能出版社, 1999

原子能出版社出版发行

责任编辑: 李曼莉

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092mm 1/16 印张 1 1/2 字数 16 千字

1999 年 10 月北京第一版 1999 年 10 月北京第一次印刷

印数: 1—200

定价: 5.00 元



王驹：核工业北京地质研究院环境保护研究中心主任，研究员级高级工程师。1984 年毕业于南京大学地球科学系，1991 年在核工业北京地质研究院获博士学位。

WANG Ju: Research fellow, Director of Environment Protection Research Center, Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC. Graduated from the Department of Geosciences, Nanjing University in 1984. Received Ph. D. Degree from Beijing Research Institute of Uranium Geology in 1991.

CNIC-01403
BRIUG-0048

我国高放废物处置库甘肃北山预选区地壳 稳定性研究

王 驹 徐国庆 金远新 陈伟明 郭永海 杨天笑

(核工业北京地质研究院, 100029)

摘 要

在总结国内外已有的经验的基础上, 从下列几方面较深入地探讨了北山地区的地壳稳定性问题: 区域大地构造特征及其演化历史, 区域地球物理场特征及地壳结构分区, 区域深断裂特征, 区域地震活动性, 区域新构造运动特征, 区域现代构造应力场及其计算机模拟, TM 遥感影像地质解译在地壳稳定性研究中的应用, 以及区域地壳稳定性评价。研究结果表明, 研究区可划分成八个不同的稳定性区域。其中, 北山稳定区条件最好, 其地壳稳定性符合国际原子能机构 1994 年安全指南 111-G-4.1 对高放废物处置库场地预造的要求, 可以作为处置库预造区, 开展进一步的场址筛选和场址特性评价等工作。

**Study on the Regional Crust Stability of Beishan Area,
Gansu Province, Northwestern China——A Preselected
Area for China's High Level Radioactive Waste
Repository**

(In Chinese)

WANG Ju XU Guoqing JIN Yuanxin CHEN Weiming
GUO Yonghai YANG Tianxiao

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, China National Nuclear
Corporation, Beijing 100029)

ABSTRACT

Based on international experiences of site selection, the crust stability of the Beishan area is studied. The researched problems are regional tectonic structure and its evolution, regional geophysical field, crust structure, regional deep-rooted faults, regional seismological activity, regional neo-tectonics, regional modern stress field and its numerical simulation, geological interpretation of TM satellite images and its application in the study of crust stability. The research in the past years indicates that the western part of Gansu province (the studied area) can be divided into 8 parts with different crust stability. Among those parts, the Beishan area possesses the best conditions, its crust stability accords with the demands on candidate site for HLW repositories, which are described in the International Atomic Energy Agency's Safety Series No. 111—G—4.1 Guidelines.

1 区域地质特征

1.1 自然地理概貌

研究区位于甘肃省西北部。该区人口稀少、气候干旱、矿产资源较贫乏、经济发展相对落后。自南向北可划分为祁连山地、河西走廊、北山山地三部分。

1.2 区域大地构造特征及其演化历史

1.2.1 大地构造单元的划分

甘肃省西部主要板块构造单元有：西伯利亚板块、塔里木板块和华北板块等，不同的板块分别以红石山断裂带和阿尔金走滑断裂带为分界线。

1.2.2 构造地质演化

甘肃省西北部板块构造活动可追溯到中晚元古代，此时西伯利亚板块、塔里木板块及华北板块陆台基底已固结成大陆型地壳。古生代末，板块轮廓基本定型，形成褶皱带与地台或地块镶嵌拼贴的格局。晚二叠世开始北山地区进入板内阶段。而祁连山地区晚古生代-早中生代除南祁连保留有残留海盆并遭三叠纪洋海水侵入外，形成板内山间拗陷及山前拗陷。

古生代末至中生代初北山褶皱带和阿拉善地块构造运动开始活跃。层间滑动断裂发育。此时，祁连山加里东地槽褶皱带进入断陷盆地发育阶段。侏罗纪、白垩纪时在山前或山间形成了一系列北西方向断陷盆地。第三纪以来，北山地区仅有部分地区有少量中新世地层分布，现代地壳运动较弱。而祁连地区以块断升降运动为主，现代地壳运动较强烈。

从区域大地构造演化历史看，北山地区应属塔里木板块的一部分。中新世以来，构造活动并不强烈，处于长期隆起剥蚀状态。在现代地壳应力场作用下，没有大的地震活动。因此北山地区地壳稳定性较好。河西走廊及祁连山地区，中新世以来，沿深大断裂差异升降运动强烈，地震活动性较强，因此其地壳稳定性较差。

1.3 区域水文地质特征

根据地下水循环交替、含水介质、地形地貌等因素，区域地下水可分为三个系统。

(1) 祁连山地下水系统：地下水广泛分布于岩石风化裂隙和构造裂隙中，以潜水为主。
(2) 河西走廊平原地下水系统：是整个研究区的主要汇水区，蕴藏丰富的孔隙地下水。上部为潜水，深部为承压水。
(3) 北山地下水系统：地下水主要赋存于基岩风化裂隙和构造裂隙中，其次是沟谷洼地孔隙中，地下水可明显划分为山地基岩裂隙水和沟谷洼地孔隙水两类。地下水以潜水形式存在，其补给来源是区内的降水入渗，分布受构造控制，水量分布不均。

研究区走廊地下水系统地下水最为丰富，其次是祁连山地下水系统，北山地下水系统水量贫乏。三个系统的地下水具有水力联系，祁连山和北山系统在接受大气降水补给后，部分消耗于蒸发，部分以地下径流方式补给走廊地下水系统。

2 区域地球物理场特征及地壳结构分区

2.1 区域重力场和地壳厚度

研究区重力异常具分带特点。以北纬 40° 为界, 南部重力异常区为祁连山-河西走廊北西向重力梯度带。该带从北向南重力值由 $-2.25 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ 急剧降至 $-4 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ 。该梯级带为现代地壳活动区。北部重力异常区, 异常值较高, 为 $(-1.5 \sim -2.2) \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$, 等值线宽缓稀疏, 水平梯度变化小。这些特征反应本区地壳厚度变化小, 不存在岩石圈断裂带。

研究区地壳厚度与重力异常具有相似的特征。北纬 40° 以北, 地壳厚度 $47 \sim 50 \text{ km}$, 无明显梯级带。北纬 40° 以南, 地壳厚度由 50 km 急剧变化到 62 km , 水平变化梯度达 0.1 km/km , 反映出该带为地壳稳定性较差的地区。

2.2 区域航磁特征

祁连山褶皱带为正负变化磁异常区。西部被 NEE 向磁异常所截。此特征与布格重力异常特征相似, 反映了青藏高原北部边缘构造走向的深部背景。河西走廊拗陷带为一低缓变化的磁场区。阿尔金断裂带东端呈 NEE 走向, 表现为低缓负磁异常。

北山地区表现为磁场升高异常, 变化范围为 $30 \sim 150 \text{ nT}$, 异常等值线呈 NW 方向。这一正磁异常带是北山褶皱带海西期花岗岩、花岗闪长岩等磁性体的反映。

2.3 大地电磁测深

大地电磁测深结果表明, 在该区可识别出 5 个低阻层。课题组在北山地区进行了单点大地电磁测深工作。测量结果反映深部具有多层地质结构。结果显示花岗岩底板埋深最深达 5.5 km ; 其下为前长城系的变质岩基底。

2.4 大地热流

甘肃西部仅河西走廊做过地温测量和大地热流值计算。其地温等温线方向与河西走廊基本一致, 在靠近北山山前和祁连山山前地温偏低, 一般为 30°C 左右, 而在山区则多低于 30°C 。河西走廊 100 m 深平均地温约为 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$, 地温梯度为 $3 \sim 4^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ 。祁连山及北山地区多为岩石裸露区, 传导热散失很快, 加之降水及河水的入渗, 使之成为低地温分布区, 100 m 深的地温均为 30°C 或低于 30°C 。河西走廊的大地热流值范围为 $33.87 \sim 64.4 \text{ mW/m}^2$ (25 个数据)。数值表明, 河西走廊热流值较高, 地壳稳定性较差。

2.5 地壳结构分区

甘肃西部地区地壳结构可划分为三个地壳结构区。

(1) 北山-阿拉善地壳结构区: 展布于北纬 40° 以北。地壳厚度 $47 \sim 50 \text{ km}$ 。属地壳厚度变化极其平缓地区。该区新构造运动不明显, 地震活动微弱, 属整体缓慢上升地区。该地壳结构区为块状结构区, 仅发育有基底断裂, 地壳完整性较好。但其南部北山山前, 受河西走廊-北祁连山地壳结构的影响, 地壳结构以镶嵌结构为主;

(2) 河西走廊-北祁连山地壳结构区: 包括河西走廊和北祁连山。结构区地质构造复杂, 由北而南地壳急剧增厚。断裂带现代构造活动明显, 历史地震强度大, 属新构造时期以来剧烈活动的地壳结构区。该地壳结构区边界深大断裂是地壳差异运动的主要场

所。地壳结构区为块裂结构区,地壳破碎。

(3)祁连山地壳结构区:位于河西走廊-北祁连山地壳结构区以南。地壳厚度在 62~69 km。该结构区整体隆升,边界断裂差异活动显著。其活动强度较河西走廊-北祁连山地壳结构区小,属中强震活动区。

3 区域深断裂特征

根据遥感解译和区域地质资料,研究区共识别出 7 条区域深断裂。

3.1 疏勒河断裂

疏勒河断裂处于北纬 $40^{\circ}20'$ ~ $40^{\circ}40'$ 范围内,呈舒缓波状,东西向延伸,长达 570 km,是一条地壳断裂。为北山山地和走廊盆地的分界线。地貌上表现为北高南低的阶地。断裂地震活动相对较少,最大的一次地震(1933 年)发生在三危山断裂与疏勒河断裂交汇处,震级为 5.5。疏勒河断裂形成于早古生代加里东期,晚古生代海西期活动强烈,中生代活动性明显减弱,新生代表现为微弱的升降运动。

3.2 金塔南山断裂

断裂西起宽滩山南麓,与阿尔金山断裂东段呈斜接关系。总体走向 $NW65^{\circ}$, 出露长度 170 km,宽 10~15 km。断裂是金塔南山-龙首山断裂的西段部分。金塔南山-龙首山断裂是划分阿拉善地块和走廊拗陷区的重要断裂。推测此区域深断裂为岩石圈断裂。该断裂由多条左旋不连续断层段组成。由地层及微地貌法判定的晚更新世断距 50~150 m,求得年平均水平滑动速度为 2.5 mm,全新世断距 12~26 m,年平均水平滑动速率为 1.2~2.6 mm。

3.3 祁连北缘断裂

该断裂西起阿尔金山昌马大坝附近,东至古浪西营河脑附近。纵贯河西走廊南缘绵延 600 余公里。断裂总体走向 $NW55^{\circ}$,多南西倾,倾角 60° ~ 80° ,并呈上陡下缓的铲形。地表山一系列向南陡倾的迭瓦状逆断层组成,由于被一些北北西及北北东平移小断层断错,使其沿走向不甚连续。该断裂为祁连山与河西走廊的天然界线,比差达 2000 m 左右。山前残丘断层三角面,洪积扇群成带状展布,地貌显示十分壮观。现代中强地震及弱震密集分布于该断裂与昌马-俄博断裂之间。晚更新世以来,断裂的垂直活动强度较大,其平均位错速率多在 1.6~3.1 mm/a 范围内。水平位错以左旋为特征,其速率在 1.1~2.0 mm/a 之间。

3.4 昌马-俄博断裂

断裂是北祁连山深大活动断裂带西段的重要组成部分,西起昌马,东至俄博以东,长 460 余公里。总体走向 $NW60^{\circ}$,南西倾,倾角 60° ~ 80° ,挤压破碎带宽 75~250 m。断裂早期以挤压为主,中更新世晚期以来转变为左旋走滑兼有逆断层性质。断裂位于北祁连山地壳厚度高变异常带上。在此断裂带上曾发生昌马 7.7 级地震,推测为岩石圈断裂。断裂带大致以镜铁山为界,西段沿断裂形成串珠状谷地,其南侧一级夷平面比北侧高 500~900 m,二级夷平面比北侧高 300~500 m。东段断裂形成宏大的断层谷,断裂两侧同级夷平面几乎保持不变。晚更新世以来,断层活动主要表现为左旋走滑兼有由南向北逆冲的性质。沿断裂带屡见下古生代变质岩逆冲于新第三系及第四系之上。断层泉

常呈带状。浅层电法证实,昌马盆地西南缘断裂表现为寒武、奥陶系冲覆于第四系之上,断距 560 m。

3.5 阿尔金断裂(东段)

阿尔金断裂东段,西起金雁山北麓,至宽滩山以东,全长近 600 km。总体走向 NE 70°,是一条规模宏伟、发育良好的左旋平移深大断裂带。该断裂带在中更新世以前为挤压-左旋剪切型,但自中更新世晚期以来以左旋走滑运动为主。断裂位于地壳厚度陡变带上。断裂切割了从元古代至第四纪所有地层。推测其为岩石圈断裂。断裂带的新构造活动产生了各种类型的断错微地貌。该断裂带作为陡峻山系与山前冲洪积盆地的分界,在遥感影像图上十分醒目。阿尔金断裂的古震痕迹也比较明显,沿断裂发现和揭露了大量古地震遗迹。此断裂是一条强烈活动断裂。高放废物处置库应远离此活动断裂。

3.6 二道井-红旗山断裂

二道井-红旗山断裂是发育在前长城系及海西期花岗岩中的大型韧性剪切带中的断裂,近东西走向,长达 170 km。断裂最早形成于海西期,而后在印支期、燕山早期和燕山晚期又经历了脆性活动。自第四纪以来则没有活动迹象。东西向断裂对该区的构造发展史、地壳稳定性有决定性的影响。这组断裂以压性、压扭性为主,经地面调查及卫星照片解译,可初步认为东西向脆性断裂不属于活动断裂,将不会对本区地壳稳定性产生重大影响。

3.7 中秋井-金庙沟断裂

断裂呈东西走向,长达 130 km,两端被中、新生代盆地覆盖。该断裂主要发育在糜棱状片麻岩、花岗岩和绢云母板岩之中;断裂带内岩石具有韧性剪切特征,糜棱岩、透入性线理发育,矿物的塑性变形明显。断裂形成于海西期,之后经历了强烈的挤压变形,大部分岩石已片理化,其中发育一些顺层脆性断裂,在燕山期则被北东向的脆性断裂错断。该断裂历史上未曾发生过 $M_s > 4.74$ 以上的地震。据推测断裂形成于海西期,形成深度约为 10 km(左国朝等,1990 年)。到燕山期有 NE 向次级脆性断裂切过该断裂。未发现第四世洪积物有被错断或厚度陡变等现象。表明该断裂自第四世以来未活动过。但考虑到该断裂的规模及现今该区的应力场主压应力方向为 30°~60°,在确定场址时应注意远离该断裂。

4 区域地震活动性

4.1 甘肃西部地区地震空间分布特征

甘肃西北地区处于青藏高原北部地震区。地震资料表明,在大致以选区为中心的 300 km 范围内,最早地震是 180 年高台 7.5 级地震,最大震级为 132 年昌马 7.7 级地震。1900 年前强震记录仅 3 次。历史上记录到的 6 级以上地震 12 次,其中包括 7 级以上地震 3 次,5~5.9 级地震 34 次,4~4.9 级地震 172 次。甘肃西北地区地震空间分布是不均匀的。4 级以上地震主要分布于三危山-金塔南山-龙首山以南的地震活动区内。在地震活动区内,地震的分布也是不均匀的,它们常常沿主要活动断裂带密集发生,呈现明显的带状。

4.2 地震构造区的划分

研究区划分为 5 个地震构造区。从地震的分布来看,区域上,河西走廊地震构造区及祁连山地震区地震活动相当强烈。敦煌-安西地震构造区地震活动较弱,无 6 级以上地震记载,最大震级为 5.3 级,弱震活动也较弱。阿拉善地震构造区,虽在其东部有过 6.3 级地震记录,但对预选区而言,是地震活动较弱的地区,在这一范围内,没有 5 级以上地震记录。北山地震构造区是一个典型的弱震活动区,地震最大震级为 5.2 级,且均离选区较远。

4.3 地震危险区及历史地震烈度分布

区域上地震危险区分布于河西走廊及以南,沿深大活动断裂展布。根据历史强震综合分析,历史强震影响的高烈度区在昌马堡及红崖堡一带,在新民堡有一烈度为 8 的区域。北山地区历史强震的影响烈度为 6 度。国家地震局 1990 年编 1:400 万《中国地震烈度区划图(1990)》将疏勒河一线以北的北山地区划为 6 度区,而其南部为大于 6 度地区。

因此,从地震的空间分析,地震的分区特征、地震构造的发育情况及历史地震烈度的分布规律诸方面可以看出,北山地区是非地震活动区。在该区无中强度以上地震发生,为一地震低烈度区。

5 区域新构造运动特征

地貌、新第三纪以来地层和沉积特征可以综合反映一个地区的区域新构造运动特征。

5.1 地貌特征

地貌是地表外貌各种形态的总称,主要受新构造运动的控制。

研究区位于内蒙古高原和青藏高原的交汇处。北部地区(疏勒河断裂以北),地面起伏不大,气候干燥,风力剥蚀作用显著;南部地区,地势高耸,气候寒冷,有现代冰川分布;中部河西走廊一带,地势较为平坦,为戈壁地貌。由此可见,本区大致可划分为三个地貌单元:北山山地、河西走廊和祁连山地。

北山已经准平原化。山势较低,海拔 1500~2500 m。山丘多为浑圆状山坡,坡度较小,山谷低平,地形较平坦,戈壁砾石较普遍。

河西走廊南侧为大型冲、洪积扇裙发育,构成向北倾斜的斜坡地貌形态,属于盆地内陆堆积平原;北侧以洪积平原为主。戈壁沙漠为本区的主要地貌景观。海拔在 1000~1500 m。

祁连山地由一系列平行山岭与山间盆地组成,呈北西-南东方向延伸。海拔在 3000 m 以上,山地显示为北陡南缓的形态,海拔 4000 m 以上的许多地区终年积雪,发育着现代冰川。

研究区的夷平面可划分为三级:(1)一级夷平面:形成于中生代末至早第三纪,大约在渐新世至中新世初期隆升解体。(2)二级夷平面:形成于晚第三纪,其隆起解体时期在上新世末至更新世初期。(3)三级夷平面:大约形成于早更新世至中更新世,可能是第四纪中期被抬升。由上述可知,在晚近地质历史时期,本区经历过三次强烈的地壳抬升作用和三个相对稳定的阶段。

5.2 新第三纪以来沉积特征

研究区的沉积特征主要体现于玉门镇、酒西和花海三个拗陷之中。具体分别叙述如下:

(1) 玉门镇拗陷区 主体为一向北倾斜的洪积扇组成的戈壁平原,洪积扇前缘疏勒河一带为绿洲平原。基岩埋深约 3000 m,其上沉积有侏罗系、下白垩统和新生界,总厚达 3000~5000 m;其中新第三系 200~500 m,第四系很薄。

新第三纪以来的沉积物可划分为 3 期:上新世砂砾石和粘土层(厚约 270 m)、早更新世砾岩(厚约 140 m)、中更新世至全新世的砂砾石层。其中后者不整合于早更新统之上。

(2) 酒西拗陷区 以北西向嘉峪关断层为界,将酒泉拗陷区分割成酒西、酒东两个拗陷区。酒西拗陷区的基岩最大埋深 4000~7000 m,沉积盖层最大厚度 6000~7000 m;其中新第三系厚 2500 m,第四系厚 1100 m。拗陷北部第四系厚度显著变薄,一般仅数十米。更新世至现代,其沉降活动仍很强烈。

(3) 花海拗陷区 从晚侏罗世开始,环绕花海拗陷东、南、西三面开始发育边界断裂,中央下沉,接受厚达 4600 m 以上的中生代沉积物。其中第三系厚约千余米,第四系不超过 200 m。

5.3 新构造分区与新构造运动分期

5.3.1 新构造分区

根据区域地貌、第三纪以来地层和沉积物特征等资料,以疏勒河断裂、阿尔金活动断裂和走廊南缘活动断裂为界,可将研究区划分为三个新构造区:

北山微弱隆起区:低山丘陵区,多发育 II 级、III 级夷平面,II 级夷平面标高 2000~2500 m,III 级夷平面标高 1500~1800 m。新构造线在隆起区西部呈北东向展布,在隆起区东部呈北西向展布,形成一个向北东突出的弧形与阿尔金断裂相平行。历史上没有 5.2 级以上地震,5 级以下地震也很少。

河西走廊拗陷区:该沉降区分布在祁连山前断裂和阿尔金断裂东断(大坝-赤金堡)之间,由一系列盆地和隆起组成。盆地和隆起之间由断层和单斜构造相连。第四纪以来该沉降区构造运动十分强烈。玉门盆地第四系厚 1100 m,酒泉盆地和张掖盆地第四系厚 1000 m。石油沟、文殊山、乱山子和金塔南山等隆起,均形成于第四纪,将上新统、早、中更新统地层褶皱、抬升。历史上多次发生中强地震。

祁连山强烈隆起区:该区地势高,发育三级夷平面。隆起北缘地势高差大,山前有活动的大断裂存在。在隆起之上分布有北西西向活动断裂,如昌马-俄博断裂和中祁连北麓断裂。前者发生过 7.7 级地震。在隆起的北西端发育一系列小型第四纪盆地,如昌马盆地、石包城盆地和苏干湖盆地等,它们的长轴方面均为北西向。

5.3.2 新构造运动分期

研究区的新构造运动主要受青藏地块阶段性隆升的影响。在青藏地块缓慢上升时,河西走廊相对沉陷,并接受沉积;在其急剧上升时,河西走廊也处于剥蚀状态,其沉积序列产生间断。以河西走廊的沉积序列为基础,可推断出研究区有 3 次急剧的上升运动:

上新世末期:构造运动在祁连山北麓表现为疏勒河组的褶皱和断裂。在石油河、疏勒河以及其它地方均可见疏勒河组发生褶皱和倾斜,与上覆早更新世玉门组不整合。

早更新世末期：早更新世玉门组发生褶皱、断裂（主要为逆断层）和单斜。早更新世末的急剧抬升，山前扇形堆积（玉门组砾岩）遭到河流的强烈切割，导致绝大部分中更新世的沉积被限制在玉门砾岩的狭谷之中。这是中更新统常内迭于下更新统的主要原因。

中更新世末期：急剧抬升的证据是晚更新世地层内迭于中更新统之中。

晚更新世至全新世，研究区处于相对缓慢上升时期，仅在石油河、疏勒河一带可见切割不深的堆积阶地，全新世沉积物内迭或上迭于晚更新世沉积物之上。在广大的戈壁地区，全新世沉积与晚更新世的沉积为连续或微弱切割晚更新沉积物而上迭其上。

6 区域现代构造应力场及其计算机模拟

6.1 区域现代构造应力场分析

现代构造应力场是论证地壳稳定性的重要因素。本文通过水系法、震源机制解、三角网测量和声发射等手段来探讨本区最大主应力的方向与量级。

水系格局是内外动力相互作用的结果，反映一定的地质构造和新构造运动性质。可以根据水系格局来恢复第四纪构造应力场。研究表明该区第四纪构造应力场的最大主应力方位为 $NE35.5^\circ \pm 5.5^\circ$ ，最小主应力方位为 $SW125.5^\circ \pm 5.5^\circ$ 。

应用地震台网所记录到的 P 波初动资料来研究震源处的断层面解，将大范围内多次地震的许多断层面解进行统计，可以得到等效应力场的结果。现收集到研究区 16 个中、强地震的震源机制解。结果表明主应力优势方向为 $NE35^\circ \sim 45^\circ$ ，约 81% 的主应力倾角小于 45° 。

区内三角网测点资料表明。其最大缩短方向在 NNE 和 NEE 之间，平均方位为 $NE30^\circ$ 。

各方面的资料均表明：研究区现代构造应力场主应力方向为近 NE-SW 向，其优势变化区间大致在 $NE30^\circ \sim 45^\circ$ 。同时还表明：现代构造应力场基本上继承了第四纪构造应力场。

声发射研究表明研究区边界最大主应力值的量级在几到几百兆帕之间。

6.2 区域地壳应力场的计算机模拟

通过有限元数值模拟，得到了现代构造应力场的最大主压应力矢量图和剪应力等值线分布图。模拟结果表明：研究区现代构造应力场的主应力方向为近 NE-SW 向，其优势变化区间大致在 $NE30^\circ \sim 45^\circ$ 之间，最大主应力值的量级可能在几到几百兆帕之间。研究区地壳活动现象（地震和活动断裂）主要受剪应力场的控制，剪应力可能是地壳活动的主要动力来源。

7 TM 遥感影像地质解译在地壳稳定性研究中的应用

7.1 研究区 TM 影像的构造解译

在北山地区东西向、近东西向断裂构造是最早发育、并具有多期活动的性质，各时期岩浆活动都受其控制，其构造形迹清楚。北东向构造参与对新的地貌景观的控制，如

新场和旧井之间的北东向板滩东断裂等,形成次级沉降区和隆起区。在旧井岩体及其他岩体有部分岩浆脉活动受北东向构造的控制。

7.2 利用遥感资料进行区域地壳的稳定性分析

根据遥感图像分析,研究区可分为三个地壳结构区。北山地区,在遥感影像上地质特征以块体结构特征为主,断裂构造为非活动性构造。在花岗岩岩体分布区,岩体结构完整,地壳稳定性较好。河西走廊地区,冲洪积扇发育,活动断裂、隐伏断裂发育,地壳结构较为破碎,因此其地壳稳定性较差。祁连山地区,卫片上显示活动性区域大断裂发育,地壳结构破碎,断裂属岩石圈及地壳断裂,其地壳稳定性特征属不稳定型。

8 区域地壳稳定性评价

8.1 地壳稳定性模糊综合评判

评价的数学原理主要依据模糊数学中的模糊矩阵、模糊矩阵运算法则和最大隶属度原则。为使整个评价过程的操作简单易行,作者开发了地壳稳定性模糊综合评价软件。

地壳稳定性模糊综合评价模式的具体操作过程可归纳为如下几个步骤:(1)选择评价指标;(2)求其隶属度;(3)分级评价和权值的确定;(4)分区评价。

模糊综合评价共划分出 8 个区域(4 个等级):稳定区 2 个、次稳定区 1 个、次不稳定区 3 个和不稳定区 2 个。他们分别为北山稳定区、花海以东稳定区、花海次稳定区、玉门镇次不稳定区、玉门市次不稳定区、大雪山次不稳定区、嘉峪关不稳定区和北祁连不稳定区。

8.2 区域地壳稳定性分析和评价

根据区域资料和本次研究结果,将甘肃北山及其邻区地壳稳定性类型进行了划分,并编制了甘肃北山及其邻区地壳稳定分区图。

甘肃北山地壳稳定区位于天山-北山褶皱带东段二道井-红旗山复背斜,候选围岩为花岗岩。区域性的脆性断裂包括二道井南断裂、中秋井-金庙沟断裂和二道井-红旗山断裂,皆为近东西走向的浅层、不活动断裂。该区地壳为块体结构,地壳厚度为 47~50 km,地壳等深线呈北西西-近东西走向,变化极其平缓。该区重力异常值为 $-150 \times 10^{-5} \sim -225 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,重力梯度值小于 $0.6 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2 \cdot \text{km}$ 。重力异常等值线分布宽缓,缺乏梯度带,反映地壳深部不存在大断裂。该区无强震分布,未发生过 $M_s > 5.2$ 以上的地震(预选区内 $M_s < 4$),该区地貌以平缓戈壁低山丘陵为主,海拔高程为 1000~2000 m,相对高差仅为几十米。自第三纪以来该区以缓慢整体上升为主,构造差异运动不明显。该区上升速率 0.6~0.8 mm/a,远低于祁连山活动区的上升速率($< 1.5 \sim 1.8 \text{ mm/a}$)。根据新生代断裂和褶皱的构造形变综合分析,该区现代以水平挤压为主,主压应力方向为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。该区叠加断裂角为 $55^\circ \sim 80^\circ$,位于稳定叠加断裂角范围之内,主干断裂不会产生走向滑动,因而是稳定的。北山地区的地质特征表明该区为地壳稳定区,是高放废物处置库的有利候选地区。

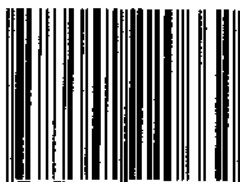
参 考 文 献

- 1 IAEA. Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High Level Radioactive Wastes. Safety Series No. 99, Vienna, 1989
- 2 IAEA. Siting of Geological Disposal Facilities. A Safety Guide. Safety Series No. 111-G-4.1, 1994
- 3 The radiation Protection and Nuclear Safety Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, Disposal of high level radioactive waste: Consideration of some basic criteria, 1993
- 4 国外铀金地质、核废物地质处置研究专辑(增刊). 原子能出版社, 1992
- 5 Witherspoon P A (ed). Geological Problems in Radioactive Waste Isolation. Berkeley National Lab., Univ. of California, USA, 1996
- 6 AECL. Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste. AECL-10711, COG-93-1, 1994
- 7 孙进忠. 区域地壳稳定性研究和评价. 北京: 中国地质大学, 1990
- 8 李兴唐等. 区域地壳稳定性研究理论与方法. 地质出版社, 1987
- 9 赵茹石等. 甘肃省板块构造单元的划分及构造演化. 中国区域地质, 1994. (1)
- 10 国家地震局《深部物探成果》编写组. 中国地壳上地幔地球物理探测成果. 地震出版社, 1986
- 11 张云琳等. 河西走廊及其附近地区的大地电磁测深. 1983
- 12 国家地震局. 阿尔金活动断裂带. 地震出版社, 1992
- 13 国家地震局. 祁连山-河西走廊活动断裂系. 北京: 地震出版社, 1993
- 14 李玉龙等. 中国西北陕甘宁青地震区划. 甘肃人民出版社, 1986
- 15 张维主编. 航空航天遥感技术地学应用研究. 地质出版社, 1993
- 16 殷跃平. 区域地壳稳定性评价专家系统研究. 地质论评, 1996, (42): 174~186

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2066-6



9 787502 220662 >