

朝鲜半岛构造系统地质环境演化及动力学机制的地球卫星遥感影像解译研究

胡东生^{1,2}, 张华京³, 徐冰⁴, 田新洪², 张国伟²

(1. 湖南师范大学资源环境科学学院, 长沙 410081; 2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069;

3. 湖南师范大学化学化工学院, 长沙 410081; 4. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛 226071)

[摘要] 采用将东亚地区综合资料分析成果与地球卫星遥感影像解译相结合的方法, 深入研究了全球构造域中典型的构造地段朝鲜地块。详细识别出朝鲜半岛地区的基本构造形式, 其基本类型主要有环形构造(及辐射构造)、追踪构造、共轭构造、菱形构造、多米诺构造等; 对其构造地质环境演化过程及地球动力学机制进行了宏观阐述, 晚古生代之前朝鲜半岛是由中国东部三个不同板块(华北板块、扬子板块、华南板块)贴拼焊接而成, 中生代隆起成陆以后遭受了三期构造运动的影响(松林运动、大宝运动、佛国寺运动), 新生代发生了玉岭运动。朝鲜地块基本构造形式的形成受中国边缘海盆地与日本海盆地的侧向水平运动的影响, 其构造主应力轨迹线方向为北东—南西向延伸, 近代主应力轨迹线方向表现为北西西—南东东向展布, 对其引起的现代地质作用及环境效应得到有关部门的充分注意。

[关键词] 地球卫星遥感影像解译; 构造系统基本类型; 地质环境演化过程; 地球动力学机制; 朝鲜半岛

[中图分类号] P541; P56. [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)12-0031-08

1 引言

在全球岩石圈构造系统的展布图像中, 东亚地区是最引人入胜的地方, 按照现代全球构造理论的认识, 东亚地区是地球三大岩石圈板块(亚洲板块、太平洋板块、印度板块)和许多小板块相互作用的地区^[1,2], 其地质结构错综复杂, 其应力活动相互交错, 其构造形式复杂多变, 为探索全球构造发育形式与地球构造动力学和寻找区域矿产资源及地区经济发展提供了得天独厚的丰富多彩的物质基础。朝鲜半岛位于东亚地区的中段, 处于西太平洋岛弧构造带的内侧, 是突兀于中国边缘海(渤海、黄海、东海)与日本海的二者夹持的中间地块, 在全球大地构造位置上是为独特而复杂的区域。朝鲜半岛总面积为 $21.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 整体地势由北向南、由东向西呈逐渐降低的趋势, 其北部及东部多呈山地, 其西部及

南部多呈盆地, 山地地形约占总面积 75% 以上, 平原地形主要沿着海岸及山间谷地分布; 气候属于海洋性季风区与大陆性季风区的过渡地带^[3], 年日照时数为 2 280 ~ 2 680 h, 年降雨量为 500 ~ 1 500 mm, 年平均气温为 8 ~ 12 °C; 地表植被带具有纬向分布的特点, 北部为针叶落叶林带(寒温带), 中部为针叶阔叶混交林带(暖温带), 南部为阔叶常绿林带(亚热带)。朝鲜半岛的全球战略地位非常重要, 对东亚地区的影响也十分显著, 是中国周边地区及全球发展中非常敏感的地带和非常重要的地区。

2 区域地质概述

根据对东亚地区的地质研究资料的综合分析, 朝鲜半岛的地块性质及构造属性是错综复杂的, 其北部是中朝地块的一部分, 其中部是扬子地块的一

[收稿日期] 2006-12-26; 修回日期 2007-03-20

[基金项目] 西北大学大陆动力学国家重点实验室开放基金资助项目(DL2006001)

[作者简介] 胡东生(1951-), 男, 甘肃天水市人, 湖南师范大学资源环境科学学院教授, 从事资源环境和遥感地质学与地球动力学分析及全球变化等领域的研究

部分,其南部是华南地块的一部分^[4]。区域地质调查资料表明^[4],从太古代—晚元古代—早古生代这一漫长地质历史时期,朝鲜半岛具有地台的性质,属于中国地台的东缘。太古代岩性建造为片岩,片麻岩岩系(狼林群)。岩石遭受了强烈的变质作用及花岗岩化作用。晚元古代岩性建造为结晶岩岩系(摩天岭系、连津系+祥原系+沃川系、驹视系),岩石普遍遭受变质作用并有混合岩化作用发生。早古生代岩性建造为碎屑岩和碳酸盐岩系(通称为朝鲜系,主要包括黄州系等),岩石变形强烈。晚古生代发生台内沉陷出现海浸,岩性建造由碎屑岩、薄层灰岩和煤系组成(主要包括平安系、图们江系及金川系等),晚古生代末期重新抬升成陆。中生代陆相地层发育,构造岩浆活动频繁。新生代断裂构造发育,火山活动活跃。

由于朝鲜地块结构的复杂性,构造岩浆旋回表现也十分复杂。早古生代以前,岩浆侵入活动主要沿着构造转换(由地向斜向地背斜转化)的部位进行,区内发育古老的杂岩体^[5],莲花杂岩体的年龄为1 700~2 000 Ma,利原杂岩体的年龄为664~781 Ma。前寒武纪以前地层建造是由低压高温变质岩系构成基底,变质相系从片麻岩相至麻粒岩相均可发育,由堇青石+矽线石等典型矿物组合组成,局部有十字石;早古生代地层建造是由高压低温变质岩系构成盖层,主要发育为绿片岩相和角闪岩相,由兰晶石+十字石等典型矿物组合组成,局部有矽线石。基底和盖层之间的温度压力条件是互为相反的,其间有混合岩化作用和花岗岩化作用发生^[6]。晚古生代朝鲜地台活化接受海相沉积,出现较大幅度的振荡运动,均与中国大陆边缘海连成一片。这个特征表明朝鲜地块在古生代以前的形成过程中,其物质演化在岩石圈结构上是由深层向浅层逐步逐层逐段变化的,在其动力学机制上具有东亚大陆板块折离贴拼同步振荡整体变迁的特征。中生代重新抬升成陆(晚古生代末期开始)以后,构造岩浆活动强烈,发生了3次显著的构造事件^[7],表现为:1)松林运动(songnim orogeny)发生在晚二迭世末至早三迭世;2)大宝运动(daebo orogeny)发生在早侏罗世末至中侏罗世末;3)佛国寺运动(bulgusa orogeny)发生在晚白垩世至早第三纪初(古新世)。中生代发生的这3次构造事件属于东亚构造域中的燕山运动(T~K)的早—中—晚三期活动的构造幕,在朝鲜地块内部造成地堑、拉分盆地和韧性剪切带及多米

诺断裂带^[6],出现了广泛的岩浆岩侵入,发育了由超基性—酸性及碱性的侵入杂岩^[4]。新生代以来朝鲜半岛地壳新构造活动^[7]表现强烈,发生了玉岭运动(yeonil orogeny),表征了东亚构造域中的喜马拉雅运动(E~Q)的主构造幕,地震及火山活动连绵不断^[5,8]。

区域地质调查成果认为朝鲜半岛的线性构造主要有两个延伸方向,一组为北北西向,一组为北东向。在朝鲜学术界,根据一般传统习惯,将前者称为“朝鲜方向”,将后者称为“震旦方向”。“朝鲜方向”的构造线与朝鲜半岛地块的长轴方向相一致,“震旦方向”的构造线与中国大陆东部华夏系构造展布方向相一致。根据中国遥感卫星地面站和中国国家地理杂志社制作的朝鲜半岛地区的地球卫星遥感影像(Landsat-5, TM, 2003)资料,采用精密层块分析和专题演绎识别及综合分析的方法,课题组对朝鲜半岛的地质构造进行了综合解译和系统研究,表明境内线性构造和环形构造及其多种组合构造均非常发育,而且构造类型和分布位置及地体环境演化也都是十分复杂的。

3 构造系统类型

在东亚地区传统地质学的研究中,一般认为朝鲜半岛有3个构造单元:即盖马高原、京畿地块、岭南盆地,这种认识主要基于地块发育历史过程中构造岩浆和地层基底及盖层的组成和相互演化关系的基础之上^[5-7,9]。通过最近综合地质学资料的研究成果,并根据地球卫星遥感影像(中国遥感卫星地面站和中国国家地理杂志社,2003)的精细解译及综合研究,朝鲜半岛的大地构造地质环境可以详细划分为5个基本构造单元(见图1):1)盖马高原(北界以中朝边境为界,南界以安州—新上一线为界);2)平安盆地(北界以安州—新上一线为界,南界以大机里—大津里一线为界);3)京畿地块(北界以大机里—大津里一线为界,南界以群山—江陵一线为界);4)岭南盆地(北界以群山—江陵一线为界,南界以半岛南端海岸线为界);5)济州岛(新生代浅海火山构造岛)。

3.1 盖马高原

区内由古生代结晶岩系构成基底,中心部位夹有元古代岩浆变质杂岩及太古代构造核杂岩,并有小型中生代盆地沿局部构造陷落处发育,地形景观以山地及高原为主,平均海拔1 000~1 500 m,境内



1. 环形及辐射构造;2. 菱形构造;3. 共轭构造;
4. 多米诺构造;5. 追踪构造;6. 边界断裂

图1 朝鲜地块构造展布图

Fig. 1 The exhibition cloth diagram of massif structure in Korea peninsula

最高峰将军峰 2 749 m,是朝鲜半岛的屋脊。线性构造主要有 3 种类型:共轭构造、环形构造、追踪构造。

共轭构造:1) 以球场以北为中心发育共轭构造,一组延长方向为 $N 40^{\circ}E$,长约 250 ~ 300 km;一组延长方向为 $N 60^{\circ}W$,长约 150 ~ 200 km;2) 多处发育较小型的共轭构造,2 组延长方向分别为: $N 5^{\circ}E$ 和 $N 40^{\circ}W$;3) 其他直线性断裂多沿着两组共轭构造线的方向分布,往往是其中一组发育(以北北东向和北东向为主),而另一组较不发育(北西向和北西向)。断裂线分布比较平直,断裂带力学性质为扭性特征。

环形构造:1) 以北水白山为中心发育 3 层圆环状构造,中心内层构造圈闭状直径约为 15 km 左右,中间层构造近圈闭状直径为 40 ~ 50 km,外层构造半圈闭状直径为 90 ~ 100 km;2) 以华城以北为中心发育 2 层圆环状构造,中内层构造圈闭状直径为 35 km,外层构造半圈闭状直径为 75 km;3) 以洪君里为中心发育 2 层圆环状构造,内层构造近圈闭状直径为 10 ~ 15 km,外层构造半圈闭状直径为 25 ~

35 km;4) 在新昌、洪原、感兴等地也分布有不太完善及规模不等的环形构造,一般展布在 10 ~ 50 km 以内。断裂线圆滑,断裂带性质以韧性特征为主。

追踪构造:1) 沿方筑—妙香山—三浦里等一线延展,主体构造线延长近约 400 km,总体形态为舒展弧状,西段(呈东西向 - $N 90^{\circ}E$ 展布)与东段(呈北东东向 - $N 70^{\circ}E$ 展布)为直线状,中段(呈北东东向 - $N 70^{\circ}E$ 展布)为锯齿状;2) 以安州—新上一线延展,呈近东西向 ($N 85^{\circ}E$) 略向北突出的弧形,主体构造线延长约 200 km。断裂线分布比较宽缓,断裂带力学性质为张性特征。

3.2 平安盆地

区内地层深部由晚古生代结晶岩系构成基底并夹有早古生代至元古代变质杂岩及太古代核杂岩,其上广泛露出的是由中生代陆相地层碎屑岩建造构成的沉积盖层,地形景观在西部与东部以盆地及平原为主,在中部分布为中低山系,平均海拔为 200 ~ 500 m。线性构造主要有 4 种类型:环形构造、菱形构造、共轭构造、追踪构造。

环形构造:以阳德附近为中心发育 3 层圆环状构造,中心内层构造圈闭状直径为 20 ~ 25 km,中间层构造近圈闭状直径为 40 ~ 59 km,外层构造半圈闭状直径为 75 ~ 100 km。断裂线较为圆滑,断裂带性质以韧性特征为主。

菱形构造:分布在环形构造的外围地带,一组菱边构造延伸方向为 $N 20^{\circ}E$,一组菱边构造延伸方向为 $N 80^{\circ}W$,两边分别在新坪(南东部)、玉坪(北东部)、新城(北西部)、立石(南西部)附近为交点相连,其内部中心形成正四边形(边长约为 80 ~ 85 km)菱形构造,其外围边缘两组延伸方向分别以其中一组较为发育,结构也较为松散,可以稀疏展布全区。断裂线展布平直,断裂带性质以扭性特征为主。

共轭构造:分布范围较小,分别以金刚山、高山附近等地为共轭点,两组断裂延伸分别近于平行菱形构造的两组边长方向。断裂线平直,断裂带性质以扭性特征为主。

追踪构造:1) 沿梦金浦里—安边等一线展布,构造线延伸方向为 $N 70^{\circ}E$,主体断裂长约 300 km,旁侧断裂长约 150 km,断裂带宽约 10 ~ 20 km;2) 沿大机里—大津里等一线展布,主体构造线延伸方向为 $N 70^{\circ}E$,断裂长约 300 km,在构造带的东段金化以东发育有分叉“入”型断裂。断裂线呈舒缓波状,

断裂带性质以张性特征为主。

3.3 京畿地块

区内以古生代以前结晶岩系为基底,夹有变质杂岩体及燕山期花岗岩体,地形景观以山地为主,西低东高,平均海拔为 500 ~ 1 000 m,东部及东海岸山势陡峭,西部沿海及河口地带带有小型盆地分布。线性构造主要有 3 种类型:环形—辐射状构造、多米诺构造、追踪构造。

环形—辐射状构造:以柳洞里为中心呈发育 2 ~ 3 层圆环状构造,中心内层构造圈闭状直径为 25 ~ 30 km,中间层构造半圈闭状直径为 40 ~ 55 km,外层构造局部半环状长约 50 ~ 90 km,在环形构造的外围有不太完善的辐射状构造发育。圆环状构造断裂面以韧性结构为主,辐射状构造断裂面以张性结构为主,二者配套相伴发育在一起,表明属于同一构造作用所形成的组合配套组分。

多米诺构造:是朝鲜地质学界对密集斜列发育的断裂构造系统的形象称谓,相似于多米诺骨牌的叠置展布形态^[7]。实际上朝鲜半岛南部发育两组多米诺构造:1) 北北西向构造组:这组多米诺构造延伸方向为 $N50^{\circ} \sim 10^{\circ}W$,展布密度较大,最小间距约为 5 km,在延伸方向上断续分布,单体断裂长约 60 ~ 90 km,断裂面性质以张扭性为主;2) 北北东向构造组:这组多米诺构造延伸方向为 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}E$,展布较稀疏,最小间距为 5 km 以上,延伸较大,单体断裂一般长为 100 km 左右,最长可达 220 km 以上,断裂面性质以压扭性为主。这两组多米诺构造一般不相互切割,在一些交接部位也不发生相互扰动现象,说明二者的形成具有同时性。

追踪构造:沿群山—江陵等一线展布,构造线延伸方向为 $N50^{\circ}E$,主体构造长约 280 km,单体断裂带长为 8 ~ 280 km;断裂破碎带发育较宽,平均宽约 5 ~ 10 km,断裂面性质以张性特征为主。

3.4 岭南盆地

区内以晚古生代以前结晶岩系为基底,夹有古老变质杂岩和燕山晚期花岗岩体侵入,地形景观为低山丘陵间有谷地平原,平均海拔为 500 m 左右。线性构造主要有 4 种类型:环形构造、菱形构造、多米诺构造、追踪构造。

环形构造:1) 以荣州为中心发育 2 ~ 4 层圆环状构造,中心内层构造圈闭状直径为 25 ~ 30 km,中间层构造半圈闭状直径为 45 ~ 50 km,外层构造局部发育半环状长约 20 km 左右,在北东方向还由外

围弧形状构造长约 15 ~ 20 km;2) 以大田附近为中心发育圆环状构造,呈半圈闭状直径约为 45 ~ 55 km;3) 以大丘附近为中心发育 2 层圆环状构造,中心内层构造圈闭状直径为 25 ~ 30 km,外层构造半环状直径约为 60 ~ 100 km;4) 以长水为中心发育 2 ~ 3 层圆环状构造,中心内层构造圈闭状直径为 20 ~ 25 km,中间层构造半圈闭状直径为 50 ~ 60 km,外层构造局部出现呈半环状直径约为 70 km;5) 以光州附近为中心发育 2 层圆环状构造,中心内层构造半圈闭状直径为 25 ~ 30 km,外层构造呈半环状长约 60 ~ 70 km。断裂线圆滑,断裂带性质以韧性特征为主。

菱形构造:1) 以忠州附近为中心呈密集展布的规则菱形构造,一组菱边构造延伸方向为 $N70^{\circ} \sim 80^{\circ}W$,另一组菱边构造延伸方向为 $N30^{\circ} \sim 40^{\circ}E$,断裂线延长为 40 ~ 70 km;2) 以义城附近为中心呈较为稀疏展布的不规则菱形构造,一组菱边构造延伸方向为 $N60^{\circ} \sim 70^{\circ}W$,另一组菱边构造延伸方向为 $N5^{\circ} \sim 10^{\circ}E$,断裂线延长为 30 ~ 55 km。这 2 组菱形构造发育在荣州环形构造外围的西部与南部,断裂破碎带较宽,局部地段有追踪现象发生,断裂带性质以张扭性特征为主。

多米诺构造:仅发育一组呈北北东向构造延展,在区内普遍发育,展布比较密集,断裂线延伸方向为 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}E$,最小间距 5 km,断裂线延展稳定,单体断裂长约 20 ~ 200 km,断裂面性质以压扭性特征为主。

追踪构造:主要分布在本区的东部,呈北北西向构造展布,断裂带延伸方向为 $N10^{\circ}W$,在断裂线走向上追踪了京畿地块发育的另一组多米诺构造(北北西向构造组)的方向,但在分布格局上已失去多米诺构造(斜列叠置)的特征。重要的断裂带有 2 组:1) 一组沿三湖里—新基里等一线延展,断裂带呈断续分布,单体断裂长约 35 ~ 90 km,断裂线总长为 250 km;2) 一组沿镇海—丹阳等一线展布,断裂断续展布,长约 200 km。断裂线展布舒缓曲折,断裂面性质以张性—张扭性特征为主。

3.5 济州岛

济州岛是新生代晚期以来形成的火山构造岛,其活动一直延续到第四纪晚期,火山形态保留完整,环形圈闭构造发育,辐射伴生构造少见。中心火山口直径约为 500 m,火山锥体直径约为 13 km × 30 km;小火山及次生火山锥遍布全岛,其直径为

500~1 000 m。熔岩以中性-中基性及碱性岩为主,岩性为安山岩、玄武岩和碱性粗面岩、凝灰岩等。火山喷出活动伴有喷水、喷气作用,喷发过程较为文静,一般不发生大规模的爆炸现象。

济州岛由中心火山口向外围呈现3层岩性嵌套结构:中心为熔岩基岩带(长为30 km,宽为13 km),中间为熔岩风化带(长为37 km,宽为19 km),边缘为火山土壤带(长为75 km,宽为30 km)。

4 地质环境演化

中国边缘海地壳厚度调查^[10]的资料表明,边缘海大陆架的地壳厚度>30 km,朝鲜半岛地壳厚度^[11]平均为30~34 km。根据综合研究^[11-13]的成果,东亚近海地壳结构变化如下:大陆型地壳厚度>30 km,亚大陆型地壳厚度30~15 km,亚海洋型地壳厚度15~10 km,海洋型地壳厚度<10 km。由此表明朝鲜半岛具有陆壳结构并镶嵌在中国边缘海的东北部之上,区域地质资料^[2,4,5]也表明朝鲜半岛是古生代以前中国东部几个陆块拼合而成的复性地块,故而可称其独立构造单元为朝鲜地块。中国边缘海重力调查^[12,13]及区域地质调查^[9]的资料表明,在渤海、黄海、东海的中新生代沉积及沉陷区域形成多个裂解中心,其海域中央发育深槽或隆起,并且沿走向具有平行递错的现象。课题组结合东亚地区综合地质调查成果资料,编制了最新的朝鲜半岛及周边地区的大地构造及其演变分布图(见图2)。

在环西太平洋造山带的研究中,中国东部郯庐断裂带的发育及演化对大陆边缘海及朝鲜半岛的影响^[14,15]非常大,朝鲜地块与中国大陆地块最早裂解的时间发生在震旦纪(680 Ma)^[14],也是由古郯庐断裂带所启动的。从郯庐断裂带两侧属于同一地质结构的大别山(中国东部)—临津江(朝鲜北部)断裂带^[10]的错动位置计算,朝鲜地块从古生代以来向北运移了950~1280 km。根据东亚区域地质调查及地层古地磁测定资料^[1]的分析,朝鲜半岛在白垩纪顺时针旋转了20°(N20° E),在第三纪早期顺时针旋转了6°(N26° E),在第三纪晚期顺时针旋转了3°(N29° E)。以大别山断裂带的走向N20° W作为基准,朝鲜地块从古生代以来已顺时针旋转了70°,如将朝鲜半岛逆时针旋转70°,其地块长轴方向正好与大别山断裂带走向相重合。区域地质资料^[5,16]分析表明,朝鲜地块从中国陆块在震旦纪发生裂解以后又出现了2次陆块贴拼及焊接作用:第

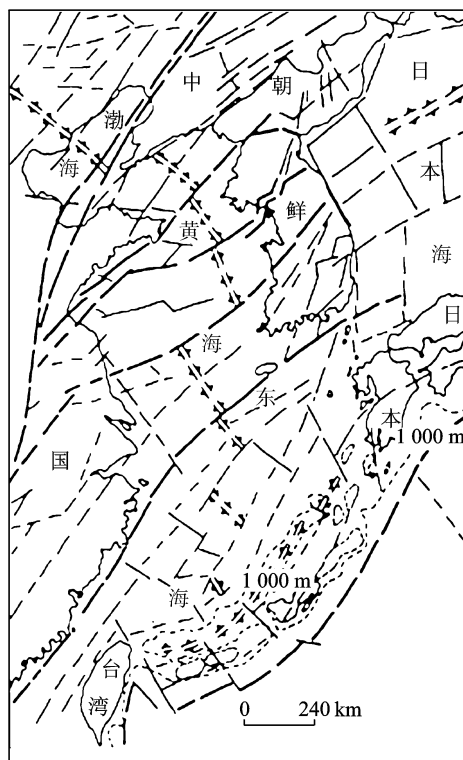


图2 朝鲜半岛及周边地区大地构造展布图

Fig. 2 The geotectonic exhibition cloth diagram of Korean peninsula and its peripheral region

1次出现在晚元古代末期—早古生代初期,发生华北地块(中朝地块的一部分)与扬子地块的贴拼及焊接形成前寒武纪地层的变质作用,发育低压高温变质岩(堇青石+矽线石—十字石)及变质相系(片麻岩相—麻粒岩相)组合,是东亚构造域加里东运动早期构造幕的产物;第2次出现在早古生代末期~晚古生代早期,发生扬子地块与华南地块的贴拼及焊接作用,形成早古生代地层的变质作用,发育高压低温变质(兰晶石—十字石—矽线石)及变质相系(绿片岩相—角闪岩相)组合,是东亚构造域海西运动早期构造幕的产物。这2期变质作用由早期(第1期)低压高温状态转向晚期(第2期)高压低温状态,反映了岩石圈板块刚性特征随时间增加的运动属性和朝鲜地块陆壳的加积增长过程。经过这2次陆块贴拼及焊接由3个裂解的小陆块组合成统一的朝鲜地块,形成后在晚古生代受了海浸的影响,中生代初期重新隆起成陆进入大陆构造域的活跃期,发生了燕山运动的3个构造幕(松林运动、大宝运动、佛国寺运动),新生代也遭受了东亚构造域喜马拉雅运动构造幕的影响(玉岭运动)。这些综合资料清晰地表明,朝鲜地块自古生代以来是持续向

北运移、同时发生顺时针旋转,并在与中国东部地块相脱离的过程中再次发生裂解作用,形成大陆边缘盆地及陆内浅海(渤海、黄海、东海)与之相隔离。这种大陆边缘盆地与大洋弧后盆地在全球构造^[17]位置上有较大的区别,前者是在大陆板块内部产生的与大陆边缘海相联系的陆块裂解构造盆地,后者是在大洋板块聚合带产生的火山岛弧与大陆板块之间形成的大洋边缘盆地^[18],二者在盆地物质结构和地球动力学机制方面也是不尽相同的。

中国边缘海的拉分运动与日本海的拉张运动同时驱动,使朝鲜半岛遭受了侧向水平挤压作用,导致形成复杂的构造带(区)及构造形式,朝鲜地块构造分区界线均追踪拉分盆地中错裂断层方向发育,盆地拉分中轴多级递错影响到朝鲜地块构造边界的改变,形成多个受力中心和构造组合区域。另外,由于朝鲜半岛两侧日本海盆地与中国边缘海盆地的应力作用中心轴线不完全对称,促使其发生向西的掀斜作用,最终导致朝鲜半岛出现东陡西缓的地形展布态势。

5 构造动力学机制

东亚区域地质环境演化进程表明,朝鲜半岛在早古生代末期以前完成陆块贴拼及焊接,成为完整的统一地块,晚古生代发生新生陆台沉陷出现海浸,中生代陆台回返经历大陆造山运动的影响,完成陆块整体变形及区域演化,新生代受到西缘中国边缘海盆地拉分作用与东缘日本海裂开拉张作用的双向水平推挤过程发育复杂的构造形式及发生掀斜现象。

朝鲜半岛两侧分别是日本海与中国近海,日本海裂开的时间为 40 ~ 60 Ma^[19](早第三纪始新世至古新世),渤海、黄海、东海的形成时间为晚第三纪^[9],都是在新生代受到太平洋板块向亚洲大陆发生运动的影响。按照盆地动力学及其构造演化^[20,21]的资料分析,中国边缘海(渤海、黄海、东海)属于大陆板块内部的多级拉分盆地(见图 2)。渤海盆地拉分轴走向为 N50°W,直到近代其拉分轴仍具有强烈的活动性,沿其走向直线延伸至陆地腹部的唐山、张家口等地区发生的强烈地震(唐山,1976 年 7 月 16 日, M7.8 级;张家口,1998 年 1 月 10 日, M6.2 级;渤海,1969 年 7 月 18 日, M7.4 级)就是明证。黄海盆地拉分轴被北东向扭性断裂递错形成 4 级拉分轴,其走向依次为 N50°W, N30°W, N20°W,

N40°W。东海盆地拉分轴被北东向扭性断裂递错形成 3 级拉分轴,其走向依次为 N50°W, N50°W, N30°W。与东海边缘相邻的冲绳海槽扩张轴走向为 N45° ~ 50°E,是晚第三纪形成的小型弧形海槽,其中发育深海洋流浊流沉积和海相碎屑岩及火山岩沉积,地幔物质上涌,热流高(8 ~ 10HFU),断裂、地震及火山活动频繁^[9,17~19],很显然冲绳海槽处于洋壳边缘次级张裂地带,是个新生的与陆壳交叉的洋底边缘扩张中心,其动力学机制受地幔物质对流及洋壳板块运动的影响,其中心轴线是主动式的张裂及扩张的。中国边缘海(渤海、黄海、东海)是大陆板块内部构造拉分的结果,其拉分轴是被动式的拉张及沉陷的,切割其拉分轴的扭性断裂是追踪大陆边缘平移断裂走向发展的。

根据朝鲜地块构造形式及其在东亚构造域的位置,其构造动力来源及作用过程的情景解析如下:

盖马高原:区内主要构造形式表现为共轭构造 - 环形构造 - 追踪构造等,构造主应力作用中心在高原的西部球场地区一带,是共轭构造的结点(共轭点)位置,早期应力形成压扭性共轭构造,后期应力作用中心向中东部转移并且热力作用强化,与岩体侵入相伴形成韧性环状构造,末期应力形成横向张性追踪构造,其区域构造应力场主动力来源主要来自黄海盆地 1 级拉分轴(N50°W)的侧向水平运动。

平安盆地:区内主要构造形式表现为环形构造 - 菱形构造 - 共轭构造 - 追踪构造等,构造主应力作用中心在盆地的中部阳德地区一带,是菱形构造的结点(空白区)位置,早期应力形成压扭性菱形构造,同时热力作用活跃伴随岩浆侵入形成韧性环状构造,中期应力扩散形成外围地区的共轭构造,晚期主应力松弛形成横向张性追踪构造,其区域构造应力场主动力来源主要来自黄海盆地 2 级拉分轴(N30°W)的侧向水平运动。

京畿地块:区内主要构造形式表现为环形 - 辐射状构造 - 多米诺构造 - 追踪构造等,构造主应力作用中心在地块的中东部柳洞里地区一带,是环形 - 辐射状构造的结点位置,早期应力作用伴随热力作用发育大规模岩体侵入形成韧性 - 张扭性环形 - 辐射状构造,中期主应力受地块两侧交替应力的影响形成两组性质各异(压扭性和张扭性)的多米诺构造,晚期主应力松弛形成横向张性追踪构造,其区域构造应力场主动力来源主要来自黄海盆地 3 级拉分

轴($N20^{\circ}W$)和日本海拉张派生的侧向水平运动。

岭南盆地:区内主要构造形式表现为环形构造-菱形构造-多米诺构造-追踪构造等,构造主应力作用中心在盆地的北东部荣州地区一带,是环形构造及菱形构造的结点位置,早期应力作用伴有活跃的热力作用和广泛的岩浆活动,形成多个韧性环形构造及张扭性菱形构造,中期应力形成展布均匀密集的压扭性多米诺构造,晚期主应力松弛形成纵向张性-张扭性追踪构造,其区域构造应力场主动力来源主要来自黄海盆地4级拉分轴($N40^{\circ}W$)的侧向水平运动。

济州岛:区内主要构造形式表现为火山构造及其机构组合,构造主应力作用中心在济州岛的中央汉拿山(海拔1 950 m)一带,其构造位置处于黄海盆地4级拉分轴与东海盆地1级拉分轴的边界结合部位,是压扭性深大断裂引发的地壳下部幔源熔浆多次喷发形成多层次嵌套的火山结构,具有喷发的周期性和强烈的活动性。

6 讨论

在全球岩石圈构造域中,东亚地区是海陆板块运动交错汇聚及其构造活动表现最为剧烈的区域,形成了著名的环西太平洋火山岛弧构造带,朝鲜半岛成为跨越海陆的过渡地带,其两侧被大陆边缘盆地(中国陆缘海)和大洋弧后盆地(日本海)所夹持,形成独特而复杂的地质构造系统,科学阐述朝鲜半岛区域构造及构造形式、构造特征与地质环境演变及其动力学运动程式,对认识中国大陆构造演化和东亚构造变迁模式及全球板块构造域发展具有积极的理论意义与实际应用价值。综合研究表明,朝鲜地块的形成与中国东部地块的多次裂解贴拼及焊接作用有关,经过加里东运动(晚元古代末期至早古生代初期)与海西运动(早古生代末期至晚古生代早期)所引起的2次陆块裂解和构造焊接及岩块贴拼作用形成统一的地块,并发生了相应的变质作用(早期为低压高温变质带和晚期为高压低温变质带),其复杂的地质结构和特殊的构造特征在全球构造域中是不多见的;其构造形式的形成则与中国边缘海及日本海的侧向水平运动有关,在燕山运动中完成大陆构造系统的发育及演变,在构造定型时期的漫长地质过程中其主应力轨迹作用线方向发生显著的顺时针旋转现象,从南南西-北北东方向为主转向以南西-北东方向为主;在喜马拉雅运动中

保持和继承及改造陆壳构造的形式及活动,其主应力轨迹作用线方向以南西($S20^{\circ} \sim 50^{\circ}W$)-北东($N20^{\circ} \sim 50^{\circ}E$)方向为主,出现朝鲜半岛整体构造的掀斜作用及地形景观的不对称属性。最近根据GPS水平矢量对全球现代地壳应力场的观测(2000)^[22]分析表明,朝鲜半岛现在处于北西西($N70^{\circ}W$)-南东东($S70^{\circ}E$)方向的主压应力场的控制之下,促使现代构造应力场仍对朝鲜地块的推挤行为产生影响,对中国边缘海盆地(渤海、黄海、东海)的壳内活动可能产生更大影响甚至使其主应力作用方向发生转变,这值得引起足够的重视,对它的相关作用及环境效应有必要进行长期监测,尤其对现代地质作用如地震活动与火山活动及新构造活动的影响要特别注意。

参考文献

- [1] Jongsma D, Barber A J. Studies in east Asian tectonics and resources, CCOP-IOC [M]. Second edition, 1981
- [2] 朱夏,陈焕疆.中国大陆边缘构造和盆地演化[A].见:朱夏.论中国含油气盆地构造[C].北京:石油工业出版社,1986
- [3] 盛承禹.世界气候[M].北京:气象出版社,1988
- [4] 蔡乾忠.中国东部与朝鲜大地构造单元对应划分[J].海洋地质与第四纪地质,1995,15(1):7~24
- [5] 朴成旭主编.朝鲜地质[M].平壤:朝鲜科学院出版社,1960
- [6] Lee S M. Have relation with tectonic plate structure of construct geology in North Korea [J]. CCCOP Technical Bulletin, 1974, 8:39~53
- [7] 金贞焕.朝鲜中生代构造[J].地球学报,1994,(3~4):32~44
- [8] 吴戈.朝鲜半岛的历史地震资料[J].东北地震研究,1994,10(1):76~80
- [9] 张文佑.中国与邻区海陆大地构造[M].北京:科学出版社,1986
- [10] 刘光鼎.中国海地球物理场特征[J].地球物理学报,2002,17(1):1~12
- [11] 滕吉文,曾融生,闫雅芬,等.东亚大陆及周边海域 Moho 界面深度分布和基本构造格局[J].中国科学,2002,32(2):89~100
- [12] 许厚泽,王海瑛,陆洋,等.利用卫星测高数据求中国近海及邻域大地水准面起伏和重力异常研究[J].地球物理学报,1999,42(4):465~471
- [13] 方剑.中国海及邻域重力场特征及其构造解释[J].地球物理学报,2002,17(1):42~49
- [14] 乔秀夫,张安棣.华北块体、胶辽朝块体与郯庐断裂[J].中国地质,2002,29(4):337~345
- [15] 朱光,王道轩,刘国生,等.郯庐断裂带的演化及其对西太平洋板块运动的响应[J].地质科学,2004,39(1):36~49
- [16] 亚洲地质编图组.亚洲地质[M].北京:地质出版社,1982
- [17] Tamaki K, Honza E. The global tectonics and the edge basin formation: the function of the West Pacific ocean[J]. Episodes,

- [18] Terman M J. Tectonic movement of the Asia eastern region in the Cainozoic era, Island ares deep sea trenches and back - are basins[J]. 1977, 468 ~ 470
- [19] Jurdy D M. The opposite sport of the tectonic plate and the formation of the edge basin [J]. The Journal of Geophysical Re-

- [20] Scheidegger A E. Principles of geodynamics [M]. Springer - Verlag, 2nd, 1963
- [21] 许靖华. 大地构造与沉积作用 [M]. 北京:地质出版社, 1985
- [22] 马宗晋, 张培震, 任金卫, 等. 从 GPS 水平矢量场对中国及全球地壳运动的新认识 [J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 4 ~ 11

On the Explanation of the Earth Satellite Remote Sensing Images for the Geological Environment Evolvment and Dynamics Mechanism of the Structure System in Korean Peninsula

Hu Dongsheng^{1,2}, Zhang Huajing³, Xu Bing⁴,
Tian Xinhong², Zhang Guowei²

- (1. College of Resources Environmental Science, Hunan Normal University Changsha 410081, China;
2. State Key Laboratory of Continentic Dynamics, Northwest University, Xi'an, 710069, China;
3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;
4. College of Ocean Geosciences, China Ocean University, Qingdao, Shandong 226071, China.)

[**Abstract**] By combining the comprehensive data analysis results and the earth satellite remote sensing images explanation in East Asia region, the paper finely studied Korea massifs, the typical structure district in global construct fields. The basic structure pattern of Korean peninsula region is identified in detail. Its basic types mainly include the wreath form structures (and the radiation structure), the trailing structures, the conjugate structures, the rhombus structures, the dominoes structures, etc. The evolving process of the structural geology environment and the earth dynamic mechanism are macroscopically elaborated. Before the post Palaeozoic era, it was formed by sticking weld of three different tectonic plates (North China tectonic plate, Yangzi tectonic plate, South China tectonic plate) in eastern China. After swell up landing in the Mesozoic era, it experienced the influence of the three periods of the construct movement (Songnim orogeny, Daebo orogeny, Bulgugsa orogeny), and the Yeonil orogeny occurred in the Cainozoic era. The basic structure pattern of Korea massifs was influenced by the side direction level movement of the Chinese edge sea basin and Japanese sea basin. Its trajectory of the structural principal stress extended in the north east - south west direction. The trajectory of modern principal stress spreads along the north west west - south east east direction, Full attention should be paid to the modern geological function and the enviromental effect function.

[**Key words**] the remote sensing image explanation of earth satellite; the basic type of structure system; the evolutionary process of geology environment; the earth dynamics mechanism; Korean Peninsula