

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0610-10

长江经济带构造应力场特征 及动力学环境分析

曹海波^{1,2}, 范桃园^{1,2}

(1. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 综合已有的研究成果, 根据长江经济带活动构造块体和构造应力场的分布特征进行了构造应力场分区, 总体上划分为华北应力分区、华南应力分区以及青藏高原应力分区, 其中华南应力分区是长江经济带的主体应力分区。在此基础上, 根据长江经济带的活动断裂及构造块体划分建立了有限元网格模型, 利用二维有限元对长江经济带的构造应力场进行模拟, 并分析了长江经济带的动力学环境。研究表明, 长江经济带构造应力场受印度板块、太平洋板块和菲律宾板块联合作用控制, 印度板块与欧亚板块的碰撞作用决定了长江经济带总体构造应力场的主要趋势, 局部区域受到周边构造环境的影响; 东南部处于菲律宾板块向欧亚板块俯冲所诱发的拉张环境, 表现为冲绳海槽, 西南部受印度板块北移所诱发的缅甸板块的剪切拉张作用, 表现为实皆断裂及其西侧的缅甸中央盆地; 青藏高原东缘物质横向挤出过程中受到太平洋板块和菲律宾板块的联合俯冲作用, 对长江经济带地应力场的分布特征产生重要影响。

关键词: 长江经济带; 构造应力场; 动力学环境; 应力分区; 有限元模拟

中图分类号: P553

文献标识码: A

0 引言

长江经济带覆盖云南、贵州、四川、湖南、湖北、重庆、安徽、江西、浙江、江苏、上海等11个省(直辖市), 面积约 $205 \times 10^4 \text{ km}^2$, 人口和生产总值均超过全国的40%。活动地块和断裂是其主要组成单元, 涉及华南、华北、川滇及巴颜喀拉地块。受印度板块与欧亚板块碰撞和菲律宾板块与太平洋板块联合俯冲作用的影响, 其内部活动构造和断裂发育, 地应力场复杂多样。长江经济带应力场受到印度板块、菲律宾板块和太平洋板块的板块构造环境以及区域内部活动构造单元与断裂带分布的共同影响, 对该区域地应力场的综合分析有助于进一步了解认识活动构造环境的地球动力学机制。

收稿日期: 2016-04-15

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“长江经济带活动构造与区域地壳稳定性调查”(DD20120268); 国家自然科学基金项目(41574090)

作者简介: 曹海波(1989-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为地球动力学方向研究。E-mail: Tsohaibo@163.com

许多学者从实测地应力、震源机制解、GPS 测量和数值模拟等方面对中国大陆构造应力场分布特征及其动力学环境进行了分析。然而,缺乏专门针对长江经济带的应力场分布特征、应力场分区边界的厘定及动力学环境的深入分析。本文将详细分析长江经济带所涵盖区域的地应力场分布特征、地应力场的分区边界,并利用数值模拟方法进一步分析长江经济带构造应力场的动力学环境。

1 长江经济带构造应力场特征

中国大陆位于欧亚板块东部,受到太平洋板块南西西向、菲律宾海板块北西西向和印度洋板块北东东向的联合挤压作用,构造应力场特征非常复杂^[1~3],整体表现为以喜马拉雅弧顶为起点呈扇形放射状^[4~8]。长江经济带横跨中国大陆东西两部,主要由华南地块、华北地块、川滇地块以及羌塘地块东部的巴颜喀拉块体组成,大致可以以南北地震带南段为界分为东西两部分。东部地区主压应力方向以东西向为主,西部地区则以南北向为主^[9~11]。东部地区的华南应力区主压应力方向以北西西向为主,华北应力区主压应力方向以北东东向为主^[11];西部地区的川滇应力区主压应力轴方向绕喜马拉雅东构造结顺时针偏转,主压应力方向由北东向转为东西向,再转为北西向;四川北部的巴颜喀拉应力区主压应力轴呈北西向^[10~12]。

根据对中国大陆各个地块的构造应力场分区,长江经济带涉及华北应力区、华南应力区、青藏高原应力区及中国西部应力区。华南、华北应力场分区大体沿秦岭—大别造山带为界,向东延伸至安徽省境内以北纬 31°附近为界,在东部沿海地区自大别以东偏离了苏鲁构造带,到北纬 30°后向东南方向偏转,最终沿杭州、宁波、温州等地直到大约北纬 27°附近。其中华北应力场主压应力轴优势方位为北东东及近东西向,华南应力场优势方位为南东东向。

长江经济带东西部分界线为南北地震带南段,大体沿红河断裂带、小江断裂带、安宁河断裂带、则木河断裂带及龙门山断裂带为分界带。东部的华南应力区主压应力场比较稳定,主压应力轴优势方位为南南东—南东向。

长江经济带西部主体位于青藏高原东南缘,主要由川滇菱形块体和滇西南块体组成。川滇菱形块体和滇西南块体应力分区以金沙江断裂带、红河断裂带西南段为界,川滇菱形块体的主压应力轴自北向南表现为由北东—北东东转为东西向、再到北西西向的顺时针旋转特征。滇西南应力区以怒江—澜沧江为界,以东地区的印支地块主压应力轴为北北西向,以西的腾冲宝山地块为北北东向。

长江经济带西北缘属巴颜喀拉块体,位于龙门山断裂带和鲜水河断裂带以北地区,有两组优势主压应力轴方位,一组为北西西,另一组为北东东。

1.1 长江经济带构造应力场分区

1.1.1 华北—华南应力区

华北—华南构造应力特征整体上较为一致,内部活动构造不太发育,众多学者按照不同资料来源进行的应力场边界划分基本一致。根据震源机制解、地应力实测资料,秦岭、大别山一带可作为中国东部华南、华北两个应力区的西段分界线^[11,13~14]。长江中下游一带南北两侧应力场差异特征明显。根据震源机制解和地震波反演方法求解的安徽境内应力场分布特征,郯庐断裂带安徽段受华北和华南应力场的共同作用,安徽北部地区的应力场同整个华北

块体的应力场方向一致,而安徽中南部地区的应力场方向与华南块体应力场一致。北纬 32° 以北的郯庐断裂带安徽段北亚段表现为主压应力占优势,而北纬 32° 以南的南亚段表现为主张应力场占优势。据此认为北纬 31° 附近区域属于安徽南、北部构造应力场分界过渡带^[15]。南黄海及其邻区现代构造应力场与华北地区的现代构造应力场基本一致,浙闽沿海和东海陆架区构造应力场同华南地区相同。由于受到从贝加尔湖起、经华北地区直到琉球海沟的统一北北西向引张应力场影响,华北应力场控制区域超出了华北地块的范围。华北应力场在东南沿海地区向南一直延伸到溧阳、南京、杭州、温州等地,直至鱼山—久米断裂带。因此,华南、华北应力场分界线西段与秦岭带走向大致相符,而东段在大别及其以东地区,该分界线偏离了苏鲁构造带,到北纬 30° 后向东南偏转,在沿海的温州附近大约到北纬 27° 左右转平,最终穿过东海海域直至琉球海沟。

1.1.2 青藏高原应力区

长江经济带西部地区的构造应力场特征较为复杂,具体的分区方案仍有争议。李珣等^[16]根据主应力轴分布方向将元江(红河)断裂、小江断裂、安宁河断裂带、龙门山断裂带作为华南应力区与青藏高原应力区的分界带,基本上与南北地震带中南段重合。阚荣举等^[17]根据P波初动解所反映的主压应力轴分布方向,将长江经济带西部分为4个应力区:A区为龙门山断裂带以北、鲜水河断裂带以东地区的巴颜喀拉块体;B区为鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂及小江断裂以西,红河断裂东北部、金沙江断裂以东所围限的菱形块体区;C区为红河断裂带西南,腾冲—龙陵—澜沧地震带以东地区;D区为红河断裂带北段以西及腾冲—龙陵—澜沧地震带以西。然而,谢富仁等^[18]和崔效锋等^[19]认为应将滇西南地区划为一个应力区,并将金沙江断裂带、红河断裂带西侧的营盘山断裂带作为川滇菱形块体与滇西南块体的应力区边界。

1.2 长江经济带现代构造应力场分区特征

1.2.1 华南—华北应力场特征

通过地应力实测资料和震源机制解,华北地区主压应力方向为北东东—东西向,华南地区主压应力方向为北西—北西西向^[11,13~14]。华北东南部主压应力轴方向由北东东向逐渐转为近东西向^[20]。由于贝加尔湖—华北地区—琉球海沟之间存在统一的北北西向引张应力场,在引张应力场控制下苏鲁—大别山区域主压应力轴方位为北东东—南西西向,主张应力方向为北北西—南南东向^[21]。在湖北、安徽、江西、江苏区域内主压应力轴方位变化较大,从北东东向至南南东向分布^[22]。在安徽境内,以北纬 31° 附近作为区域内华南、华北应力场分区界线,北部的应力场主压应力轴呈北东向,南部主压应力轴表现为南南东向^[15]。江苏地区的应力环境受到华北地台、扬子地台、华南褶皱系3个地质构造单元的共同约束^[23]。由于快剪切波的优势方向总是与区域主压应力场方向一致,江苏南部至长江以北的北西向快剪切波反映了主压应力场方向为北西向,长江以南的近东西向快剪切波反映了主压应力场方向近东西向,这与根据震源机制解及井壁优势崩落方向统计出的主压应力方向结果一致。在上海及浙江境内的南京—杭州湾以北区域,主压应力轴方位为北东—北东东向,趋近于东西向,仰角近水平,以南区域的应力场优势方位为南南东—南东向,仰角亦近于水平,南北两部分构造应力场优势方位差异明显,可看作是华南和华北构造应力区的分界线^[24]。

1.2.2 青藏高原现代构造应力场特征

川滇地区构造应力场以水平作用为主,最大主应力轴方位由北向南呈规则转动的趋势。川滇菱形地块应力场非常复杂,块体以理塘为界,北部主压应力轴方位自北向南由北东转为

近东西再转为北西向;南部主压应力轴优势方向为南南东向^[17,25]。金沙江断裂和元江断裂以西的滇西南应力区的优势方向从北部的北东逐渐转为北北东到北北西^[16]。红河断裂带西南,腾冲—龙陵地震带和耿马—澜沧地震带以东地区,即滇西南块断带,主压应力优势方位为南南东—南东,以水平作用为主。包括腾冲—龙陵地震带和耿马—澜沧地震带及其以西地区,向西向南均为缅甸北部,向西直到缅甸板块东界地区,主压应力优势方位为北北东—北东,以水平作用为主^[17,26]。长江经济带西北缘的巴颜喀拉应力区主压应力优势方位为北东—北东东,以水平作用为主^[16,26],在龙门山断裂带上主压应力轴方位则以北西西向占优势^[25]。可能存在北西西和北东东两组优势方位^[27]。

2 长江经济带动力学环境分析

以南北地震带为界的长江经济带东、西部构造应力场的显著差异是由印度洋板块、菲律宾海板块以及太平洋板块联合作用的结果^[3]。菲律宾海和太平洋板块俯冲所形成的弧后盆地表现为拉张性质^[9]。北西西向挤压的菲律宾海板块主要控制长江经济带东部的华南应力场,太平洋板块向欧亚板块俯冲挤压和自贝加尔经大华北直到琉球海沟的大范围引张应力场共同控制了华北应力场。长江经济带东部地块受到青藏高原物质侧向挤出作用^[28],并在西伯利亚地盾以及东部板块的联合作用下向南东东方向运动,同时在太平洋和菲律宾海板块向西北西或北西方向推挤作用下发生逆时针方向旋转^[29]。长江经济带西部构造应力场主要由印度洋板块向欧亚板块的强烈挤压应力以及由青藏高原隆起产生的引张力控制。其中,川滇地区应力场顺时针旋转以及表现出的张性环境的动力来源于印度板块向北运动过程中对缅甸块体产生的剪切拉伸作用^[30]。此外,地壳或岩石圈的性质与结构、深部热状态和重力势能、特殊的岩石层环境、主要活动断裂和次一级活动断裂的展布对长江经济带西部构造应力场也有一定影响^[31~34]。

3 应力场模拟与动力学环境分析

3.1 有限元建模

长江经济带主要涉及华南地块、华北地块、川滇地块、巴颜喀拉块体等^[35~37],块体之间以活动断裂带为分界。本文在此基础上建立了二维静态非结构化有限元模型,以进一步了解长江经济带构造应力场特征和动力学环境。在模拟过程中,根据区域板块构造环境设定边界条件和载荷,模型北边界AB段施加南北向约束,同时对B点在x、y方向固定;边界载荷结合区域板块构造环境采用渐变的方式施加载荷,断裂发育带稀疏区域用弱化带代替,对于活动断裂密集区,采用等效岩石物质参数代替活动断裂所在区域。具体的岩石物性参数、边界条件及施加载荷见表1—表3及图1、图2。

表1 边界条件
Table 1 Boundary conditions

边界	x 方向	y 方向
AB 段	0	1
B 点	1	1

表 2 边界施加载荷
Table 2 Loading on boundary

边界	载荷/N	
	x 方向	y 方向
AB 段	0	0
BC 段中北段	-300000	-80000
BC 段南段	300000	100000
CD 段东段	300000	100000
CD 段西段	-500000	200000
DE 段	-500000	200000
EF 段东段	-300000	500000
EF 段西段	-300000	800000
FG 段	-1500000	2500000
GH 段	5000000	-3000000
HI 段	7000000	-3000000
IA 段	10000000	10000000

表 3 模型岩石物性参数
Table 3 Physical property parameters of rocks in model

块体	杨氏模量/MPa	泊松比
西部块体 (a)	70000	0.3
东部块体 (b)	50000	0.3
活动断裂发育带 (c)	7000	0.3

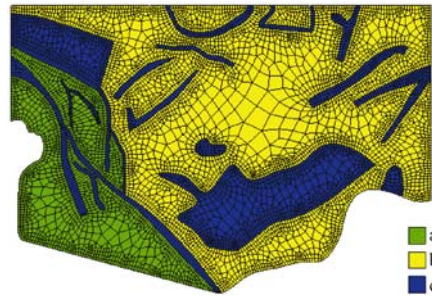


图 1 岩石物性分布图
Fig. 1 Distribution of physical property of rocks

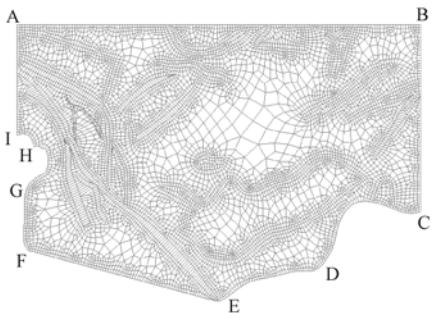
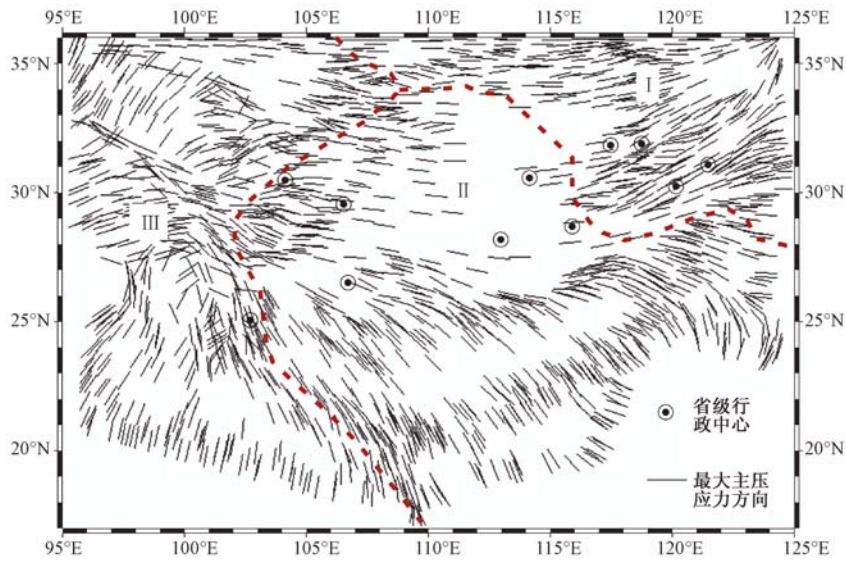


图 2 有限元网格
Fig. 2 Finite element mesh

3.2 模拟结果分析

根据模拟结果（见图 3），长江经济带东部构造应力场总体上呈东西向，在华南地区主压应力轴呈南东东至南东向，华北地区呈北东东向；长江经济带西部构造应力场发生顺时针旋转。模拟结果与上文论述应力场特征基本一致。

根据施加边界载荷，长江经济带动力学环境特征表现为印度板块北向挤压，太平洋板块向欧亚大陆俯冲过程中的南东东向挤压，菲律宾海板块东西向挤压。缅甸—巽他板块受到印度板块北向挤压过程中产生的拉张作用，表现为实皆断裂及其西侧的缅甸中央盆地，菲律宾海板块对巽他板块西向挤压的共同作用对长江经济带产生北西向的挤压。青藏高原东缘物质横向挤出，同时在青藏高原北向挤压作用下，对长江经济带产生北东向挤压作用。菲律宾海板块与太平洋板块联合作用产生的冲绳海槽对长江经济带产生南东向拉张作用。



I—华北应力区; II—华南应力区; III—长江经济带西部应力区

图3 长江经济带构造应力场最大主压应力模拟结果

Fig. 3 Simulated result of maximum principal stress in Yangtze River Economic Belt

长江经济带西部构造应力场顺时针旋转特征可能是因为印度板块向欧亚板块俯冲, 青藏高原物质在羌塘地块阻挡下发生造成横向挤出, 东侧受到华南块体的阻挡并受到华板块的阻挡向南流动, 同时, 在缅甸—巽他板块的北西向拉展作用下发生进一步旋转的结果。根据模拟应力场分布特征, 长江经济带构造应力场是由印度板块、太平洋板块和菲律宾板块联合作用控制, 印度板块与欧亚板块的碰撞作用决定了长江经济带的总体构造应力场的主要趋势, 局部区域受到周边构造环境的影响。此外, 长江经济带内的活动断裂分布特征对该区域内应力场特征亦产生重要影响。

4 结论

整体上, 长江经济带东部的华南、华北地块主压应力方向呈东西向, 其中华北应力场主压应力轴的优势方位为北东东向及近东西向, 华南应力场优势方位为南东东向; 西部的构造应力场分布特征较复杂, 自巴颜喀拉地块到川滇地块主压应力场方向由北北东旋转为北东、东西向, 再旋转为北北西向。

长江经济带东西部应力场分区以南北地震带南段为界, 大体沿红河断裂带、小江断裂带、安宁河断裂带、则木河断裂带及龙门山断裂带为分界带。位于东部应力场的华南、华北应力场以沿秦岭—大别一带为应力场西段分区边界, 在安徽省境内大体以北纬 31°附近为界。自大别以东华北应力场偏离了苏鲁构造带, 到北纬 30°后向东南方向偏转, 最终沿杭州、宁波、温州等地直到大约北纬 27°附近。

长江经济带西部应力场主要由川滇菱形应力区、滇西南应力区及巴颜喀拉应力区组成。金沙江断裂带, 红河断裂带西南段可看作滇西南与川滇菱形应力区边界。同时, 滇西南应力区又可以以红河断裂带西南, 腾冲—龙陵—澜沧地震带为界分为印支地块应力区和腾冲宝山

地块应力区。巴颜喀拉应力区与华南应力区及川滇菱形应力区的分区边界为龙门山断裂带和鲜水河断裂带,该区域内存在两组优势主压应力轴的方位,一组为北西西,另一组为北东东。

基于对长江经济带构造应力场模拟分析,长江经济带构造应力场是由印度板块、太平洋板块和菲律宾板块联合作用形成的。实皆断裂及其西侧的缅甸中央盆地受印度板块北向挤压过程中产生剪切拉张作用,巽他板块受到菲律宾海板块西向挤压作用产生的北向挤压,以及冲绳海槽的拉张作用亦产生重要影响。

致谢 感谢吴中海研究员提供的建议与意见,感谢 Feap 提供有限元模拟软件。

参 考 文 献

- [1] 杜兴信,邵辉成. 由震源机制解反演中国大陆现代构造应力场 [J]. 地震学报, 1999, 21 (4): 18~24.
DU Xing-xin, SHAO Hui-cheng. Modern tectonic stress field in the Chinese mainland inversed from focal mechanism solutions [J]. Acta Seismologica Sinica, 1999, 21 (4): 18~24.
- [2] 汪素云,陈培善. 中国及邻区现代构造应力场的数值模拟 [J]. 地球物理学报, 1980, 23 (1): 35~45.
WANG Su-yun, CHEN Pei-shan. Simulation of tectonic stress field in the Chinese continent and adjacent areas [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1980, 23 (1): 35~45.
- [3] 徐纪人,赵志新. 中国岩石圈应力场与构造运动区域特征 [J]. 中国地质, 2006, 33 (4): 782~792.
XU Ji-ren, ZHAO Zhi-xin. Regional characteristics of the lithospheric stress field and tectonic motions in china and its adjacent areas [J]. Geology in China, 2006, 33 (4): 782~792.
- [4] 陈连旺,杨树新,谢富仁,等. 中国大陆构造应力应变场现今年变化特征的数值模拟 [J]. 中国地震, 2005, 21 (3): 341~349.
CHEN Lian-wang, YANG Shu-xin, XIE Fu-ren, et al. Numerical simulation on annual change patterns of present-day tectonic stress-strain field on the Chinese mainland [J]. Earthquake Research in China, 2005, 21 (3): 341~349.
- [5] 崔效锋,谢富仁,赵建涛. 中国及邻区震源机制解的分区特征 [J]. 地震地质, 2005, 27 (2): 298~307.
CUI Xiao-feng, XIE Fu-ren, ZHAO Jian-tao. The regional characteristics of focal mechanism solutions in china and its adjacent areas [J]. Seismology and Geology, 2005, 27 (2): 298~307.
- [6] 吴云,帅平,周硕愚,等. 用 GPS 观测结果对中国大陆及邻区现今地壳运动和变形的初步探讨 [J]. 地震学报, 1999, 21 (5): 545~553.
WU Yun, SHUAI Ping, ZHOU Shuo-yu, et al. Current crustal motion and deformation in the China continent and its surrounding area determined from GPS data [J]. Acta Seismologica Sinica, 1999, 21 (5): 545~553.
- [7] 谢富仁,陈群策,崔效锋,等. 中国大陆地壳应力环境基础数据库 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22 (1): 131~136.
XIE Fu-ren, CHEN Qun-ce, CUI Xiao-feng, et al. Fundamental database of crustal stress environment in continental China [J]. Progress in Geophys, 2007, 22 (1): 131~136.
- [8] 杨树新,姚瑞,崔效锋,等. 中国大陆与各活动地块、南北地震带实测应力特征分析 [J]. 地球物理学报, 2012, 55 (12): 4207~4217.
YANG Shu-xin, YAO Rui, CUI Xiao-feng, et al. Analysis of the characteristics of measured stress in Chinese mainland and its active blocks and North-South seismic belt [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55 (12): 4207~4217.
- [9] 范桃园,龙长兴,杨振宇,等. 中国大陆现今地应力场黏弹性球壳数值模拟综合研究 [J]. 地球物理学报, 2012, 55 (4): 1249~1260.
FAN Tao-yuan, LONG Chang-xing, YANG Zhen-yu, et al. Comprehensive modeling on the present crustal stress of China mainland with the viscoelastic spherical shell [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55 (4): 1249~1260.
- [10] 李延兴,李智,张静华,等. 中国大陆及周边地区的水平应变场 [J]. 地球物理学报, 2004, 47 (2): 222~231.

- LI Yan-xing, LI Zhi, ZHANG Jing-hua, et al. Horizontal strain field in the Chinese mainland and its surrounding areas [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004, 47 (2): 222 ~ 231.
- [11] 鄢家全, 时振梁, 汪素云, 等. 中国及邻区现代构造应力场的区域特征 [J]. 地震学报, 1979, 1 (1): 9 ~ 24.
YAN Jia-Quan, SHI Zhen-Liang, WANG Su-Yun, et al. Some features of the recent tectonic stress field of China and environs [J]. Acta Seismologica Sinica, 1979, 1 (1): 9 ~ 24.
- [12] 熊熊, 滕吉文. 青藏高原东缘地壳运动与深部过程的研究 [J]. 地球物理学报, 2002, 45 (4): 507 ~ 515.
XIONG Xiong, TENG Ji-wen. Study on crustal movement and deep process in eastern Qinghai-Xizang plateau [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2002, 45 (4): 507 ~ 515.
- [13] 丁旭初, 张文涛. 中国大陆东部现今构造应力状态 [J]. 地震学报, 1988, 10 (1): 25 ~ 38.
DING Xu-chu, ZHANG Wen-tao. State of modern tectonic stress field in East China mainland [J]. Acta Seismologica Sinica, 1988, 10 (1): 25 ~ 38.
- [14] 叶定衡, 王新政, 赵玉敏. 中国新构造运动基本特征 [J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1995, 16: 77 ~ 84.
YE Ding-heng, WANG Xin-zheng, ZHAO Yu-min. Neotectonics in China [J]. Bulletin of the Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, 1995, 16: 77 ~ 84.
- [15] 夏瑞良. 安徽区域地震应力场的分布特征 [J]. 地震地质, 1985, 7 (3): 13 ~ 22.
XIA Rui-liang. Characteristic distribution of regional seismic stress field in Anhui Province [J]. Seismology and Geology, 1985, 7 (3): 13 ~ 22.
- [16] 李坪, 汪良谋. 云南川西地区地震地质基本特征的探讨 [J]. 地质科学, 1975, (4): 308 ~ 326.
LI Ping, WANG Liang-mou. Discussion on the basic characteristics of seismotectonics in Yunnan-Sichuan region [J]. Scientia Geologica Sinica, 1975, (4): 308 ~ 326.
- [17] 阚荣举, 张四昌, 晏凤桐, 等. 我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨 [J]. 地球物理学报, 1977, 20 (2): 96 ~ 109.
KAN Rong-ju, ZHANG Si-chang, YAN Feng-tong, et al. Present tectonic stress field and its relation to the characteristics of recent tectonic activity in southwestern China [J]. Acta Geophysica Sinica, 1977, 20 (2): 96 ~ 109.
- [18] 谢富仁, 崔效锋, 赵建涛, 等. 中国大陆及邻区现代构造应力场分区 [J]. 地球物理学报, 2004, 47 (4): 654 ~ 662.
XIE Fu-ren, CUI Xiao-feng, ZHAO Jian-tao, et al. Regional division of the recent tectonic stress field in China and adjacent areas [J]. Chinese journal of geophysics, 2004, 47 (4): 654 ~ 662.
- [19] 崔效锋, 谢富仁, 张红艳. 川滇地区现代构造应力场分区及动力学意义 [J]. 地震学报, 2006, 28 (5): 451 ~ 461.
CUI Xiao-feng, XIE Fu-ren, ZHANG Hong-yan. Recent tectonic stress field zoning in Sichuan-Yunnan region and its dynamic interest [J]. Acta seismologica sinica, 2006, 28 (5): 451 ~ 461.
- [20] 许忠淮, 阎明, 赵仲和. 由多个小地震推断的华北地区构造应力场的方向 [J]. 地震学报, 1983, 5 (3): 268 ~ 279.
XU Zhong-hua, YAN Ming, ZHAO Zhong-he. Evaluation of the direction of tectonic stress in North China from recorded data of a large number of small earthquakes [J]. Acta Seismologica Sinica, 1983, 5 (3): 268 ~ 279.
- [21] 徐纪人, 赵志新. 苏鲁一大别造山带及其周围现代地壳应力场与构造运动区域特征 [J]. 地质学报, 2006, 80 (12): 1956 ~ 1965.
XU Ji-ren, ZHAO Zhi-xin. Regional characteristics of modern crustal stress field and tectonic motions in and around the sulu-dabie orogen belt [J]. Acta Seismologica Sinica, 2006, 80 (12): 1956 ~ 1965.
- [22] 方仲景, 向宏发, 丁梦林, 等. 苏鲁皖地区晚新生代构造应力场的初步探讨 [J]. 地震地质, 1979, 1 (4): 11 ~ 25.
FANG Zhong-jing, XIANG Hong-fa, DING Meng-lin, et al. Preliminary study of late Cenozoic tectonic stress field in Jiangsu-Shandong-Anhui region [J]. Seismology and Geology, 1979, 1 (4): 11 ~ 25.
- [23] 吴晶, 高原, 石玉涛, 等. 基于地壳介质各向异性分析江苏及邻区构造应力特征 [J]. 地球物理学报, 2010, 53 (7): 1622 ~ 1630.

- WU Jing, GAO Yuan, SHI Yu-tao, et al. Tectonic stress analysis based on the crustal seismic anisotropy in Jiangsu and its adjacent area [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53 (7): 1622 ~ 1630.
- [24] 徐杰, 周本刚, 计凤桔, 等. 华北渤海湾盆地地区地震震构造的基本特征 [J]. 地震地质, 2012, 34 (4): 618 ~ 636.
- XU Jie, ZHOU Ben-gang, JI Feng-ju, et al. Features of seismogenic structures of great earthquakes in the Bohai Bay basin area, North China [J]. Seismology and Geology, 2012, 34 (4): 618 ~ 636.
- [25] 阚荣举, 王绍晋, 黄崑, 等. 中国西南地区现代构造应力场与板内断块相对运动 [J]. 地震地质, 1983, 5 (2): 79 ~ 90.
- KAN Rong-ju, WANG Shao-jin, HUANG Kun, et al. Modern stress field and relative motion of intraplate block in southwest China [J]. Seismology and Geology, 1983, 5 (2): 79 ~ 90.
- [26] 王绍晋, 龙晓帆, 余庆坤. 昆明地区现代构造应力场分析 [J]. 地震研究, 2005, 28 (2): 178 ~ 184.
- WANG Shao-jin, LONG Xiao-fan, YU Qing-kun. Analysis on recent tectonic stress field in the Yunnan region [J]. Journal of Seismological Research, 2005, 28 (2): 178 ~ 184.
- [27] 成尔林. 四川及其邻区现代构造应力场和现代构造运动特征 [J]. 地震学报, 1981, 3 (3): 231 ~ 241.
- CHENG Er-lin. Recent tectonic stress field and tectonic movement of the Sichuan Province and its vicinity [J]. Acta Seismologica Sinica, 1981, 3 (3): 231 ~ 241.
- [28] 陈小斌. 中国陆地现今水平形变状况及其驱动机制 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37 (8): 1056 ~ 1064.
- CHEN Xiao-bin. Present-day horizontal deformation status of continental China and its driving mechanism [J]. Science in China: Earth Sciences, 2007, 37 (8): 1056 ~ 1064.
- [29] 李延兴, 张静华, 周伟, 等. 南海及周围地区的现今构造运动 [J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30 (3): 10 ~ 16.
- LI Yan-xing, ZHANG Jing-hua, ZHOU Wei, et al. Current tectonic movement of South China sea and its surrounding areas [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30 (3): 10 ~ 16.
- [30] 范桃园, 陈群策, 吴中海, 等. 青藏高原东缘活动构造与现今地应力场三维粘弹性模拟研究 [J]. 地球物理学进展, 2013, 28 (3): 1140 ~ 1149.
- FAN Tao-yuan, CHEN Qun-ce, WU Zhong-hai, et al. 3D Viscoelastic modeling on the present crustal stress of eastern Qingzang Plateau including active tectonics [J]. Progress in Geophys, 2013, 28 (3): 1140 ~ 1149.
- [31] 范桃园, 孙玉军, 吴中海. 青藏高原东缘旋转变形机制的数值模拟 [J]. 地质通报, 2014, 33 (04): 497 ~ 502.
- FAN Tao-yuan, SUN Yu-jun, WU Zhong-hai. Numerical modeling analysis of the rotation deformation mechanism of the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33 (4): 497 ~ 502.
- [32] 吴中海, 赵根模, 龙长兴, 等. 青藏高原东南缘现今大震活动特征及其趋势: 活动构造体系角度的初步分析结果 [J]. 地质学报, 2014, 88 (8): 1401 ~ 1416.
- WU Zhong-hai, ZHAO Gen-mo, LONG Chang-xing, et al. The seismic hazard assessment around south-east area of Qinghai-Xizang Plateau: A preliminary results from active tectonics system analysis [J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88 (8): 1401 ~ 1416.
- [33] 许忠淮. 东亚地区现今构造应力图的编制 [J]. 地震学报. 2001, 23 (5): 492 ~ 501.
- XU Zhong-huai. A present-day tectonic stress map for Eastern Asia region [J]. Acta Seismologica Sinica. 2001, 23 (5): 492 ~ 501.
- [34] 朱守彪, 石耀霖. 中国大陆及邻区构造应力场成因的研究 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36 (12): 1077 ~ 1083.
- ZHU Shou-biao, SHI Yao-lin. Causes of tectonic stress field in China and adjacent areas [J]. Science in China: Earth Sciences, 2006, 36 (12): 1077 ~ 1083.
- [35] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2002, 32 (12): 1020 ~ 1030.
- DENG Qi-dong, ZHANG Pei-zhen, RAN Yong-kang, et al. Basic characteristic of active tectonics of China [J]. Science in China: Earth Sciences, 2002, 32 (12): 1020 ~ 1030.
- [36] 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33

(S1): 12 ~ 20.

ZHANG Pei-zhen, DENG Qi-dong, ZHANG Guo-min, et al. Active tectonic blocks and strong earthquakes in continental China [J]. Science in China: Earth Sciences, 2003, 33 (S1): 12 ~ 20.

- [37] 张培震, 王敏, 甘卫军, 等. GPS 观测的活动断裂滑动速率及其对现今大陆动力作用的制约 [J]. 地学前缘, 2003, 10 (S1): 81 ~ 92.

ZHANG Pei-zhen, WANG Min, GAN Wei-jun, et al. Slip rates along major active faults from GPS measurements and constraints on contemporary continental tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10 (S1): 81 ~ 92.

ANALYSIS ON CHARACTERISTICS OF TECTONIC STRESS FIELD AND THE GEODYNAMIC ENVIRONMENT IN THE YANGTZE RIVER ECONOMIC BELT

Cao Hai-bo^{1,2}, Fan Tao-yuan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Geotectonic Movement & Geohazard, Institute of Geomechanics, Beijing 100081, China;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: According to existing research results, the tectonic stress field in the Yangtze River Economic Belt is divided into different zones based on active blocks and characteristic of tectonic stress field, respectively as the North China stress zone, the Southern China stress zone and the Qinghai-Tibet plateau stress zone. The South China stress zone is the major part of the Yangtze River economic belt. Based on that, we established a two-dimensional finite element model according to the active faults and tectonic blocks in the Yangtze River Economic Belt to simulate the tectonic stress and to analyze the geodynamic environment of the Yangtze River Economic Belt. The result shows that the tectonic stress field of the Yangtze River Economic Belt is combined controlled by the India plate, Pacific plate and Philippines sea plate. Collision between India plate and the Eurasian plate determines the overall trend of the stress field, and local areas also are affected by the surrounding tectonic environment. Southeast China is effected by the stretching environment of Okinawa Trough produced by Philippines plate subducting to Eurasian plate, Southwest China is effected by the northward moving of the India plate inducing shear and tension of Burma plate and resulting of Sagaing fault and western of Burma central basin, material of eastern Qinghai-Tibet Plateau in the transverse extrusion process is controlled by the joint subduction of the Pacific plate and Philippines plate, and has important influence for the distribution characteristics of the crustal stress field in the Yangtze River Economic Belt.

Key words: the Yangtze River Economic Belt; tectonic stress field; geodynamic environment; stress division; FE modeling