

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0500-17

泛长三角地区主要活动断裂 及地震活动基本特征

王浩男^{1,2}, 吴中海^{2,3}, 李浩民^{1,2}

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081)

摘要: 在系统收集整理前人成果资料基础上, 结合基础地质和遥感解译, 对泛长三角地区的主要活动断裂及其活动性进行了全面梳理和分析, 并根据区域主要断裂的活动性与历史地震活动特征, 进一步分析指出了该区需要特别关注的潜在震源区和地壳稳定性相对较差的区域。研究表明, 该区主要发育 38 条活动性相对显著的活动断裂带, 并以北东和北西走向两组活动断裂为主, 前者以右旋走滑活动为主, 后者以左旋走滑活动为主; 其次为近东西走向, 活动性较弱。进一步结合历史地震活动信息分析发现, 其中的北东/北北东向断裂是区域上主要的控震构造和发震断层, 其次是北西向断裂, 这两组不同走向断裂带的交汇部位常常是地震发生部位, 其中最显著的控震断裂是北东向的郟庐断裂与北西向的无锡—宿迁断裂。

关键词: 泛长三角地区; 新构造; 活动断裂; 潜在震源区; 地壳稳定性

中图分类号: P546; P315.2

文献标识码: A

0 引言

泛长三角地区(本文指安徽、江苏、浙江和上海)经济发达, 人口众多, 是整个长江经济带的龙头, 区域内规划有长三角城市群、皖江经济带及苏南现代化建设示范区等多个经济区带, 在整个长江经济带建设中起着模范带头作用。同时, 泛长三角地区也是历史地震多发区, 近年来一直被列为仅次于首都圈的全国地震重点监视区。

地质上, 该区跨华北板块、扬子板块、秦岭-大别造山带和华南褶皱系 4 个一级构造单元, 地质构造和断裂体系较为复杂。并且, 该区历史上多次发生中强地震活动, 包括 5.0 级以上地震 38 次, 其中大于 6.0 级小于 7.0 级地震 6 次, 尚未有 7.0 级以上地震记录。这些地震在空间分布上与断裂带分布相对一致, 因此梳理总结和分析整个泛长三角地区主要断裂

收稿日期: 2016-04-09

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120114002101, DD20160268); 国家自然科学基金项目(41571013, 41171009)

作者简介: 王浩男(1990-), 男, 硕士研究生, 地质工程专业。E-mail: e14h10@cugb.edu.cn

通讯作者: 吴中海(1974-), 男, 研究员, 从事新构造和活动构造研究。E-mail: wzhh4488@sina.com

的活动特征及其与地震活动的关系, 显然有助于更好地认识评价该区的区域地壳稳定性及其对城市群规划及重大工程建设的影响。

前人对泛长三角地区做了大量的活动断裂和地震地质方面的研究工作, 对该区主要断裂及其活动性质、规模和具体的活动年代等进行了详尽的调查研究。但他们未将整个泛长三角地区视为整体进行研究, 有些地区由于第四系覆盖和人类活动改造, 很多断裂缺乏探测资料。因此, 对不同断裂带的关系及其构造体系缺乏区域上的认识, 无法为泛长三角地区地震危险性和地壳稳定性提供更有力的证据。本文广泛收集和分析了泛长三角地区活动断裂、地震地质、历史地震的最新研究成果, 结合前人工作成果, 对直接或间接威胁长江经济带城市群、国家级新区和重要交通江通道的区域性活动断裂重新进行梳理、总结, 划分不同断裂带, 并进一步结合历史地震活动规律和分布特征, 对未来可能的地震危险性做出科学评价。

1 研究区概况

泛长三角地区(见图1)位于中国大陆东部沿海, 北接华北平原, 南为浙闽丘陵、武夷山脉, 西部以大别山、江南丘陵为界, 地势上属中国第三阶梯, 总体表现为南高北低、西高东低。区域内北端主要为华北平原东南隅、黄淮平原、长江三角洲平原, 这里濒临黄海、东海, 地势低平, 海拔基本在10 m以下, 零星分布着一些孤山残丘; 南端山系以及丘陵多为北东、北北东走向, 属于新华夏系第二隆起带, 其中黄山、天目山、九华山、莫干山等海拔均在1000 m以上。仙霞岭向北东延伸为会稽山、四明山和天台山脉。洞宫山脉向北东延伸

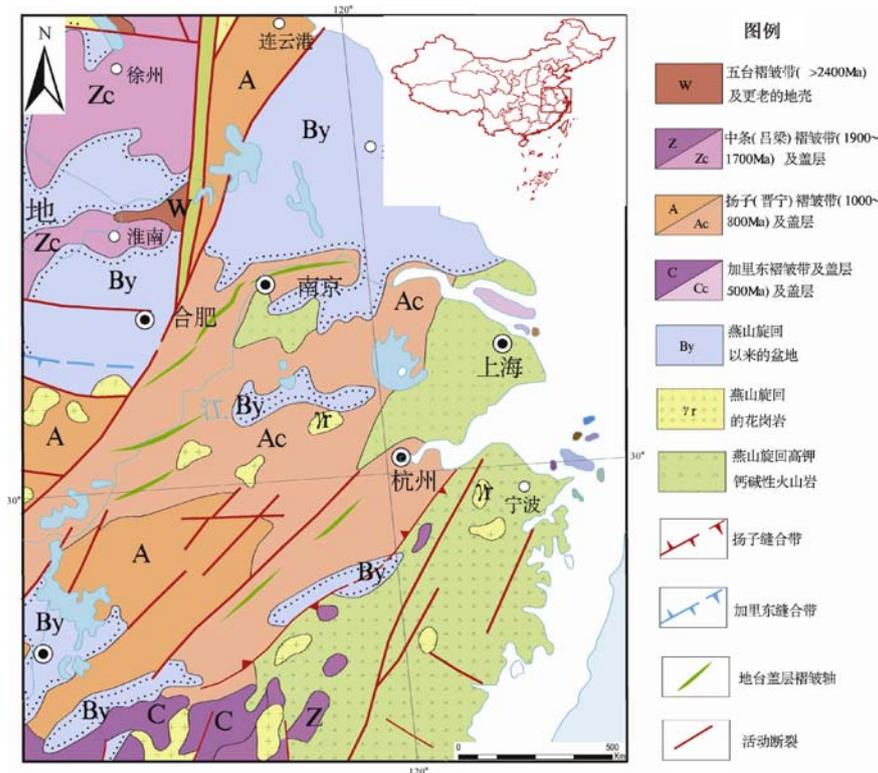


图1 研究区位置与地质环境条件

Fig. 1 Location and geological environmental conditions of the study area

为南雁荡山脉、北雁荡山脉和括苍山脉^[1]，这些山脉共同控制着区内河流的流向和分布。区域内河湖众多，水网密布。受华夏系及新华夏构造体系影响，温泉较为发育。

泛长三角地区的地貌特征和发育过程受大地构造的影响很大。该区以郟庐断裂、六安断裂和绍兴—江山断裂为界，可分为4个不同的构造单元，分别为华北地台、秦岭-大别造山带、扬子地台和华南褶皱系。其中安徽北部在印支运动时期准地台盖层发生褶皱，形成以褶皱带，燕山运动使其复杂化并且产生推覆构造，同时强烈的继承性和新生的断裂活动将其切割，在此基础上发育了断陷盆地；喜马拉雅运动使燕山期形成的断陷盆地进一步发育^[1]。江苏地区从震旦纪至三叠纪主要处在不同程度的下沉状态。燕山运动以后，靖江如皋以北的苏北凹陷不断下沉，古老的构造和地层被数百米厚的第四纪疏松沉积物掩埋，成为平坦的平原^[2]。志留纪末期的加里东运动导致华南地槽的褶皱回返，并与扬子地台拼接相连，在浙江表现为浙西北和浙东南此时构成统一的大陆。华力西—印支运动期间构造相对稳定，主要表现为短暂而频繁的震荡运动。末期印支运动是浙江自震旦纪以来最强烈的一次褶皱造山运动，形成广泛的地台盖层褶皱带，有一系列的大型北东向复褶皱构造带，并伴随北东向断裂及岩浆活动。燕山—喜马拉雅运动期间构造岩浆活动强烈。燕山早期以挤压作用为主，形成大型的拗陷和隆起，晚期以拉张为主，伴有局部水平推挤。喜马拉雅运动期间为震荡的隆起和拗陷，扬子地台西南大面积抬升，缺失新生代沉积，可见海拔1000 m以上的古剥夷面。浙北一带以沉陷为主，发育新生代断陷盆地并被第四系覆盖，成为平原^[3]。

新构造运动时期（距今10~8 Ma），中国大陆地壳受到西南侧印度板块碰撞和东侧西太平洋板块俯冲双重动力体系的控制，古老的造山带和构造行迹纷纷复活，并出现了许多新的活动构造。泛长三角地区位于横贯中国大陆南部的长江经济带东部，其现今地壳活动主要受到东部太平洋板块俯冲动力体系的作用和影响，存在和新生了许多规模和活动性不等的活动断裂。

2 主要活动断裂与活动性质

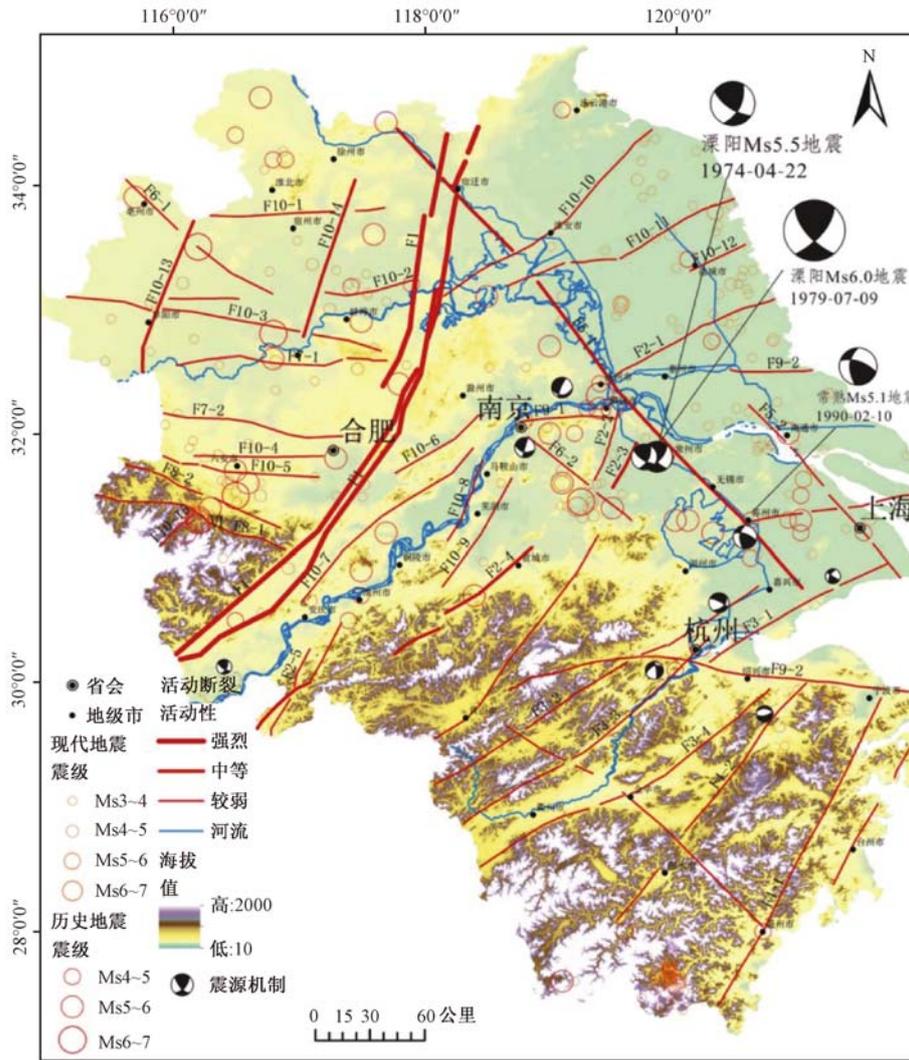
本文在系统地收集整理前人成果资料^[7-10]基础上，对泛长三角地区的主要活动断裂（见图2，表1）及其活动性进行了全面梳理和分析，发现影响该区的主要活动断裂有38条，并将其划分为3组活动时代和活动强度具有明显差异的控震断裂带，主要为北东/北北东、北西及近东西向。

2.1 北东向断裂系

该断裂系主要发育有郟庐断裂带（安徽江苏段）、扬州-南京-江南断裂带、杭州—上海断裂带、镇海—温州断裂带，形成时代早、规模大，是泛长三角地区的主要断裂系，且长期控制该区构造格局。

2.1.1 郟城-庐江断裂带^[7]（F1）

该断裂带是中国东部一条规模巨大的岩石圈断裂带，由5条互相平行的北北东向主干断裂组成，构成坳垒式构造格架，并被一系列北西向断裂所切割。在长期的发展演化过程中，该断裂带在时空上表现出多期、分段差异性活动的特点。郟庐断裂带（安徽江苏段）在中生代晚期活动强烈，扩张断陷形成裂谷，新生代后期进入裂谷收敛阶段，代之为侧向挤压。郟庐断裂第四纪以来活动仍旧明显，南段主要分布在江苏省内，为第四纪隐伏断裂带。地震资料显示郟庐断裂带北段已发生地震破裂，根据断裂带分段理论和地震活动重复性及迁移规



F1—郟庐断裂; F2-1—陈家堡-小海断裂; F2-2—茅山断裂; F2-3—金坛-南渡断裂; F2-4—江南断裂; F2-5—葛公断裂;
 F3-1—奉贤-南汇断裂; F3-2—马金-乌镇断裂; F3-3—萧山-球川断裂; F3-4—江山-绍兴断裂; F4-1—镇海-温州断裂;
 F4-2—丽水-余姚断裂; F5-1—无锡-宿迁断裂; F5-2—南通-嘉宁断裂; F6-1—涡河断裂; F6-2—南京-湖熟断裂;
 F7-1—颖上-定远断裂; F7-2—肥中断裂; F8-1—青山-晓天断裂; F8-2—梅山-龙河口断裂; F9-1—幕府山-焦山断裂;
 F9-2—拼茶河断裂; F9-3—昌化-普陀断裂; F10-1—宿北断裂; F10-2—太河-五河断裂; F10-3—临泉-刘府断裂;
 F10-4—六安-合肥断裂; F10-5—肥西-韩摆渡断裂; F10-6—滁河断裂; F10-7—乌江-罗昌河断裂;
 F10-8—六合-马鞍山断裂; F10-9—南陵-小丹阳断裂; F10-10—淮阴-响水断裂; F10-11—洪泽-流均沟断裂;
 F10-12—盐城断裂; F10-13—王老人集断裂; F10-14—固镇-怀远断裂; F10-15—落儿岭-土地岭断裂

图2 泛长三角地区主要活动断裂与地震分布

(地震资料来源于中国地震台网数据; 震源机制来源于文献 [35, 37]; 断裂资料来源于地质志及地震监测志 [1~6])

Fig. 2 Distributions of the main active faults and earthquakes in the Pan-Yangtze River Delta region

律, 该段再发生地震的可能性不大。今后应密切关注郟庐断裂带南段^[7]。

2.1.2 扬州-南京-江南断裂带 (F2)

①陈家堡—小海断裂^[2] (F2-1): 该断裂为推测隐伏断层, 断层面北倾, 倾角 45°—60°;

表1 泛长三角地区主要断裂带及其特征一览表

Table 1 Main active faults and their activities in the Pan-Yangtze River Delta region

断裂带名称及编号	断裂编号	断裂基本属性			活动性	最新活动时代	
		断裂名称	长度/km	走向			
郟庐断裂带 (F1)	F1	郟庐断裂	570	NNE	右旋逆冲	强烈	晚更新世
扬州—南京—江南 断裂带 (F2)	F2-1	陈家堡—小海断裂	100	NE	正断层	弱	全新世
	F2-2	茅山断裂	97	NE	右旋走滑	中等	晚更新世
	F2-3	金坛—南渡断裂	80	NNE	右旋走滑	中等	晚更新世
	F2-4	江南断裂	260	NE	右旋断层	中等	晚更新世
	F2-5	葛公断裂	90	NNE	左旋走滑	弱	
上海—杭州断裂带 (F3)	F3-1	奉贤—南汇断裂	150	NE	右旋走滑	弱	早更新世
	F3-2	马金—乌镇断裂				弱	
	F3-3	萧山—球川断裂	164	NE	右旋走滑	弱	中更新世
	F3-4	江山—绍兴断裂	380	NE	右旋走滑	弱	晚更新世
镇海—温州断裂带 (F4)	F4-1	镇海—温州断裂	270	NE	右旋逆冲	弱	中更新世
	F4-2	丽水—余姚断裂	325	NE	右旋走滑	弱	晚更新世
苏州—徐州北西向 断裂带 (F5)	F5-1	无锡—宿迁断裂	300	NE	左旋走滑	中等	
	F5-2	南通—嘉宁断裂	189	NW	左旋走滑	弱	中更新世
杭州—南京—亳州 断裂带 (F6)	F6-1	涡河断裂	150	NW	左旋走滑	弱	晚更新世
	F6-2	南京—湖熟断裂		NW	左旋走滑	弱	晚更新世
肥中断裂带 (F7)	F7-1	颖上—定远断裂	160	NWW	左旋走滑	弱	全新世
	F7-2	肥中断裂	300	NWW	左旋走滑	弱	全新世
霍山断裂带 (F8)	F8-1	青山—晓天断裂		NW	左旋走滑	弱	全新世
	F8-2	梅山—龙河口断裂		NWW	左旋走滑	弱	
近东西向断裂系 (F9)	F9-1	幕府山—焦山断裂		EW		弱	全新世
	F9-2	柘茶河断裂		EW	正断层	弱	全新世
	F9-3	昌化—普陀断裂	290	EW		弱	更新世
其他断裂 (F10)	F10-1	宿北断裂		EW		弱	
	F10-2	太河—五河断裂		EW		弱	
	F10-3	临泉—刘府断裂		NWW		弱	
	F10-4	六安—合肥断裂		EW		弱	
	F10-5	肥西—韩摆渡断裂		NWW		弱	
	F10-6	滁河断裂		NE		弱	
	F10-7	乌江—罗昌河断裂				弱	
	F10-8	六合—马鞍山断裂	65	NNE	右旋走滑	不明显	更新世
	F10-9	南陵—小丹阳断裂		NE	右旋走滑	弱	
	F10-10	淮阴—响水断裂	214	NE		弱	更新世
	F10-11	洪泽—流均沟断裂	230	EW	正断层	弱	更新世
	F10-12	盐城断裂					
	F10-13	王老人集断裂	340	NNE		中等	
	F10-14	固镇—怀远断裂					
	F10-15	落儿岭—土地岭断裂		NE			

注：断裂资料来源于地质志及地震监测志^[1-6]

走向北东，长约 100 km。北东段为大丰凹陷的南界，控制凹陷内古近纪沉积；南西段为吴堡凸起高邮凹陷的分界线。

②茅山断裂^[7] (F2-2)：该断裂带由一系列互相平行、呈阶梯状错落的正断层组成，总体呈北北东走向，倾向南东，倾角 35°—85°。该断裂带深度较大，是苏南地区一条重要的重力梯度带。航磁异常沿断裂带显示为负异常。据近年来多次现场考察证实，该断裂带第四纪以前表现为逆冲活动，第四纪以来表现为正断层活动。综合地震地质、测量及物探资料推测，茅山东缘（茅东）断裂带属第四纪晚更新世活动断裂带。该断裂带附近的镇江、溧阳

一带曾多次发生破坏性地震,如:1913年4月3日、1934年3月18日镇江 $M_s 5\frac{1}{2}$ 、 $M_s 5.0$ 级地震,溧阳1974年、1979年的 $M_s 5.0$ 和 $M_s 6.0$ 级地震。

③金坛—南渡断裂^[7](F2-3):该断裂位于茅山断裂东侧,与茅东断裂平行,共同构成茅山东缘盆地的边界断裂。该断裂呈北北东向延伸,长度超过80 km,由于第四纪覆盖未见出露,为一条隐伏断裂。跨茅东断裂和金坛—南渡断裂的水准资料表明,茅东断裂在1979年溧阳 $M_s 6.0$ 级地震后没有明显变化,而南渡—金坛断裂附近为下降区。

④江南断裂^[4](F2-4):该断裂自赣北经七都、石台沿清弋江至泾县、宣城、郎溪入江苏南部,北东向展布,倾向南东或北西,为中生代形成的张性断层。泾县赤滩至章家渡一段清弋江河道及沿岸发育楔入中山区的唯一一条狭窄的新第三纪—第四纪河床相泥砂砾石层,表明该段在新生代有过活动。推测该断裂为早、中更新世断裂。

⑤葛公镇断裂^[11](F2-5):该断裂北起木闸,向南经殷汇镇、榔山冲、牌楼、莘田、葛公镇至皖赣交界处的金田村,走向北北东,倾向北西西或南东东,倾角 70° — 80° 。该断裂形成于燕山期,发育于中上元古界、古生界及白垩系中,卫星影像上显示较清晰的线性构造。断裂早期以左旋走滑为特征,根据断裂两侧相对应的褶皱轴部位错,水平错距最大可达6 km,沿断裂岩石破碎、硅化,节理及牵引褶曲发育,地层局部倒转,并见构造角砾岩。断裂在殷汇镇以北为第四系所覆盖,未见出露,卫星影像上线性特征亦不明显;在殷汇镇东北陀弥山南、老凹冲一带也没有发现断裂新活动的迹象。这一带在地形地貌和航卫片上均无断裂新活动的显示,表明葛公镇断裂在殷汇镇以北段未有第四纪活动的表现。

2.1.3 杭州—上海断裂带(F3)

①奉贤—南汇断裂(F3-1):该断裂延伸至杭州湾北岸平原区,是一条隐伏断裂,与萧山—球川断裂处于同一延伸带上,走向北东。据人工地震测深结果,该断裂断距达2~3 km。推断该断裂在早、中更新世曾有活动,但以后渐趋稳定,是一条第四纪活动断裂。

②马金—乌镇断裂^[15](F3-2):该断裂带从苏南平望经乌镇、余杭、塘栖、临安、梅口、新安江水库北西侧向南西延伸,断裂呈北东向展布,全长近42 km,断面多倾向南东,倾角 70° 左右。断裂带由数条近平行的断裂组成,宽3~5 km,带内岩石破碎强烈,有酸性岩体侵入,局部见玄武岩。断裂性质以压性为主,形成于元古代,对两侧的沉积控制明显,印支运动又剧烈活动,东南侧强烈抬升,西北侧断陷沉降,形成金紫尖、麻车埠等构造盆地。在布格重力图上,沿断裂表现为密集的北东走向的重力梯度带。南部在山区通过,被近东西向的昌化—普陀断裂错动。

③萧山—球川断裂(F3-3):该断裂自浙江省球川经建德到萧山向东延伸到海宁盐官一带,总体走向 50° ,倾向北西,倾角约 65° 。断裂带由一组宽5~7 km平行的北东向断裂组成,在杭州地区长约42 km,且大部分隐伏于杭嘉湖平原之下。往北为第四系掩盖,沿北东方向经平湖延伸入上海与奉贤—南汇大断裂相接。地表为一系列平行断层组成的宽1~6 km的断裂带,多为逆冲性质,使古生代地层逆冲至上侏罗统之上,沿断裂带有基性及酸性岩浆侵入。断裂形成于晚元古代,对震旦纪及早古生代地层有控制作用。

④江山—绍兴断裂^[30~31](F3-4):该地表断裂带由许多规模不等的断裂组成,断层面倾向南东或北西,以倾向北西居多,倾角在 45° — 88° 之间。断裂形迹十分明显,沿着断裂带多见岩层破碎、挤压牵引。沿断裂有超基性、酸性侵入岩分布。断裂形成于早元古代,直接控制了扬子地槽与华南地槽的早期发展和演化,是下扬子准地台与华南褶皱系两大构造单元的分界线,断裂两侧的沉积建造和构造特征截然不同。断裂还控制了金华—衢州、诸暨等

白垩纪断陷盆地的发育,反映了断裂后期的拉张性,显示了断裂晚期的活动迹象。

2.1.4 镇海—温州断裂带 (F4)

①镇海—温州断裂^[2,7] (F4-1):该复式断裂带总体走向北东 25° ,主要由相互平行的3条北北东向断裂带即镇海—温州断裂带、象山—乐清湾断裂带、浪岗山—七星岛断裂带及所挟持的地块组成,规模巨大。它是浙江重要的地震带之一,是泉州—汕头地震带的北延部分。从其沉积作用、岩浆活动、断裂运动以及构造地貌等分析,该带在新近纪时地壳活动比较明显和强烈,至第四纪时构造活动强度已趋减弱,运动形式由断块差异运动向拱拗运动为主转化。全新世时除沉积作用仍较明显以外,岩浆活动尚未发现,断裂活动极其微弱,地壳运动表现为升降补偿的拱拗运动。

②丽水—余姚断裂^[3,31] (F4-2):该断裂是浙东南最醒目的断裂,南延福建,北经嵊县,是东南地体与浙闽地体的分界线。断裂带走向 30° ,在航磁图上反映为正负异常的分界,断裂形迹清晰。丽水盆地南部、安文等地岩石遭受动力变质作用,出现强烈的片理化及千枚岩化,宽达3 km左右。沿断裂带有燕山晚期酸性岩体侵入。该断裂直接控制早白垩世陆相盆地的形成和发展,许多白垩纪断陷盆地都集中在这个断裂带上。

2.2 北西向断裂系

该区主要发育的北西向断裂有:苏州—徐州断裂带、杭州—南京—亳州断裂带、南京—湖熟断裂带和肥中断裂带,这些北西向断裂带由于发育时代新、活动性强,并多处切割了北东向断裂带,地震时有发生。

2.2.1 苏州—徐州断裂带 (F5)

①无锡—宿迁断裂^[7] (F5-1):该断裂带北起邳县,穿越郟庐断裂带,经宿迁、洪泽、高邮、镇江、常州延伸至无锡以南,全长约300 km,总体为南东—北西走向,其新构造活动特征在地质地貌上的表现尤为突出。断裂带构成了长南带地貌构造单元的分界线,断裂带之东为平原沉降区,之西为低山丘陵构造剥蚀区,断裂带两侧明显具西高东低的地形地貌特征,并沿断裂带发育了一系列湖泊,从南至北有太湖、邵伯湖、高邮湖、洪泽湖、骆马湖、微山湖等。断裂带之西有众多火山口及第三系岩盐分布。该断裂带切穿了其他方向的构造,反映了最新活动构造特征。据历史强震资料,沿断裂带陆续发现一些历史地震遗迹,如:999年11月3日发生在常州的 $M_s 5.5$ 级地震和1624年2月10日发生在扬州的 $M_s 6.0$ 级地震,这些历史地震说明了该断裂带的构造活动性具有明显的分段特征。

②南通—嘉定断裂^[22~25] (F5-2):该断裂为上海地区最大的一条北西向断裂,它在长江边截断了以泥盆纪地层为核心的狼山背斜。1615年南通狼山 $M_s 5.0$ 级地震即受此断裂控制。

2.2.2 杭州—南京—亳州断裂带 (F6)

①涡河断裂^[4,8] (F6-1):该断裂北西起自安徽亳州,经涡阳至蒙城并继续向怀远方向延伸,全长大于150 km,总体走向 330° ,向南西陡倾,顺北西向涡河直线状延伸。断裂在卫星遥感影像图上表现为延伸极好的线性异常带。该断裂形成于中生代末,第四纪早期曾有强烈活动,断裂南西侧落差达300 m以上。据史料记载,沿断裂曾发生过较频繁的有感地震。1481年涡阳6级地震就发生在涡河断裂与北北东向王老人集断裂的交汇部位。

②南京—湖熟断裂^[2,7,14] (F6-2):该断裂带主体沿南京—上坊—湖熟—上兴一线分布,走向北西,倾向南东,倾角较陡,地质地貌特征明显。沿断裂南盘的韩府山一带发育有厚达千余米的磨拉石堆积,多处山脊在断层附近被切断,形成断层三角面,或波状岗地。在重力

及航磁等地球物理场上断裂均反映清晰,表现为重力异常梯级带或暗色线性影纹。在断裂带两端都发生过破坏性地震,在该断裂带南端与茅山断裂带的交汇区于1974年4月22日和1979年7月9日分别发生溧阳 M_s 5.5级和 M_s 6.0级地震。在南京附近与幕府山—焦山断裂西端相交处附近,历史上发生过 M_s 5.0级破坏性地震。因此该断裂带具有发生破坏性地震的构造条件,需要引起注意。

2.2.3 肥中断裂带(F7)

①颍上—定远断裂^[9~10,12](F7-1):该断裂西起安徽颍上口孜集,向东延伸,经寿县城北珍珠泉、淮南舜耕山北麓至定远山地,全长160 km,呈北西西方向展布,新生代以来有一定程度的继承性活动。该断裂附近曾发生公元294年寿县 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

②肥中断裂^[9~10,12](F7-2):该断裂东起肥东梁园附近,向西延至寿县隐贤集、河南省固始、潢川至明港以西,呈北西西向延伸,长达300 km以上。它隐伏于新生代盖层之下,新生代以来该断裂仍有活动,江淮分水岭紧邻断裂北侧,在寿县隐贤集附近发现第四纪断裂剖面。该断裂与郟庐断裂带交汇部位近年来呈小震丛集现象。

2.2.4 霍山构造带(F8)

①青山—晓天断裂^[9](F8-1):该断裂西起金寨青山,经龙井冲、磨子潭、东西溪至舒城晓天,走向东西—北西—近东西,地表倾向北(或北东),倾角 60° — 70° ,深部可能反倾。该断裂具广泛的动力变质作用,整个变形影响带宽度为2~15 km。断裂在布格重力方向(0°)导数图上显示为延伸极好的线性异常带。断裂对地貌轮廓及水系格局有明显影响,在霍山县石门山及舒城县晓天镇可见线性断层崖和断层三角面山。1917年霍山 M_s 6 $\frac{1}{4}$ 级地震发生在该断裂与北东向落儿岭—土地岭断裂的交汇部位。

②梅山—龙河口断裂^[9](F8-2):该断裂走向北西西,北西起自金寨梅山,大致沿响洪甸水库、霍山下符桥、复南山南侧再向南东延至舒城龙河口水库。断面向南西陡倾,性质先张后压。断裂沿线呈现强烈的动力变质作用,发育糜棱岩、碎裂岩和断层泥,如自西向东,在汞湾附近,岩石产生糜棱岩化;在杨泗岭发现未固结的断层泥;鲜花岭至胶冲一带发育层间滑动及各种形态的微构造;下符桥以东断裂形成宽阔的碎裂岩带。复南山一带见碎裂岩与挤压扁豆体逆覆于中生代红层之上。断裂在布格重力方向(0°)导数图上显示为延伸极好的线性异常带。在其与北东向落儿岭—土地岭断裂交汇地带曾发生1652年霍山东北 M_s 6.0级地震。

2.3 近东西向断裂

该区发育的近东西向断裂众多,尤其在郟庐断裂以西,但活动性都比较弱。从对长江三角洲城市群、皖江经济带及苏南现代化建设示范区的影响程度考虑,本文只列举了区内几条重要的北西向断裂,分别是:幕府山—焦山断裂、枞茶河断裂、昌化—普陀断裂。

①幕府山—焦山断裂^[5](F9):该断裂为长江断裂带中的一段,从南京幕府山经燕子矶、栖霞山、龙潭镇延至镇江焦山一带。总体为近东西走向,断面北倾。该断裂活动使幕府山、栖霞山等复式背斜的北半部发生大幅度跌落,在江北形成了仪征断陷,在江南则形成了宁镇断块隆起。该断裂附近,从南京至镇江一线,分布一系列中、强地震。综合分析,幕府山—焦山断裂为一条第四纪活动断裂。

②枞茶河断裂^[2,7](F10):该断裂呈东西向分布于海安县以东,倾向北,属正断层,为基底断裂。沿断裂重力场表现为明显的重力异常梯级带,断裂北侧为负异常区,南侧为正异常区。沿断裂带曾在1909年发生了 M_s 5.0级破坏性地震。因此该断裂为一条全新世活动断裂。

③昌化—普陀断裂^[29~32](F11):该断裂横跨浙北,西起皖南的绩溪,向东经太阳镇、

于潜、高坎、临安,在杭州南部地区隐伏于第四系之下,在余姚以东复出,发育在浙东低山丘陵及海岛中,地貌上表现为浙北沉降区与浙南山区的分界线。整条断裂整体呈东西向,全长约 290 km,由多条长约 20~30 km 的平行断层组成。

3 地震活动特征

3.1 地震活动与分布特征

黄汲清^[34]在根据大地构造划分中国地震地质区划图时指出,泛长三角地区属滨太平洋地震域,细分为中部强震带(华北拗陷)、东部强震区(郯庐断裂带)、南部弱震带(扬子板块和华南褶皱带),地震活动总体表现为强度弱、频度低。自公元 294 年以来,该区共记录 $M \geq 5.0$ 级地震 38 次,包括 $7.0 \geq M \geq 6.0$ 级的中强震 6 次(见表 2)。

表 2 泛长三角地区 5.0 级以上地震及其特征一览表

Table 2 Earthquakes with $M \geq 5$ and their characteristics in the Pan-Yangtze River Delta region

地震名称	时间	震级	宏观震中	最大烈度	等震线长轴方向	相关断裂
安徽寿县地震	294-07	5½	安徽寿县	Ⅶ		颍上-一定远断裂
江苏徐州地震	925-11-18	5¾	江苏徐州西北			
江苏常州地震	999-10	5½	江苏常州	Ⅶ		
安徽霍山地震	1336-01-20	5¼	安徽霍山西南		NE	梅山-龙河口断裂和落儿岭-土地岭断裂
安徽六安地震	1425-03-16	5¾	安徽六安	Ⅶ	NE (?)	韩摆渡-肥西断裂西侧
安徽亳州地震	1481-03-18	6.0	安徽亳州		NW	涡河断裂
安徽天长地震	1491-09-23	5.0	安徽天长			
江苏苏州地震	1524-03-29	5½	江苏苏州西			
安徽凤阳地震	1525-10-12	5.5	安徽凤阳西北	Ⅶ	NW (?)	临泉-刘府断裂
安徽灵璧地震	1537-05-23	5½	安徽灵璧	Ⅶ		宿北断裂
江苏邳县寨山地震	1546-09-29	5.5	江苏邳县	Ⅶ		
安徽巢县地震	1585-03-06	5¾	安徽巢县南	Ⅶ	NE	枞阳-当涂断裂与汤沟-高淳断裂
江苏南通狼山地震	1615-03-01	5.0	江苏南通狼山镇	Ⅵ	NW	南通-嘉定断裂
江苏扬州地震	1624-02-10	6.0	江苏扬州苏南	Ⅷ	NE	陈家堡-小海断裂或茅东断裂北段(?)
江苏盱眙地震	1642-11-20	5.0	江苏盱眙	Ⅵ		
安徽凤阳地震	1644-02-08	5.5	安徽凤阳	Ⅶ		
安徽霍山地震	1652-02-10	5.5	安徽霍山			
安徽霍山地震	1652-03-23	6.0	霍山东北	Ⅷ	NW	梅山-龙河口断裂和落儿岭-土地岭断
安徽庐江地震	1654-02-17	5¾	安徽庐江东南			
安徽合肥地震	1673-03-29	5.0	安徽合肥	Ⅵ		合肥-六安断裂
江苏溧阳地震	1679-12-26	5¼	江苏溧阳	Ⅶ		
江苏仪征地震	1712-12-22	5.0	江苏仪征			
江苏昆山南地震	1731-11	5.0	江苏昆山南	Ⅵ		
安徽泾县地震	1743-06-30	5.0	江苏泾县	Ⅵ—Ⅶ		江南断裂与青弋江断裂交汇
安徽霍山地震	1770-01-16	5¾	安徽霍山		NW (?)	
安徽凤台地震	1831-09-28	6¼	安徽凤台	Ⅷ	NW	固镇-风台和临泉-刘府断裂交汇
江苏宜兴地震	1839-10-12	5.0	江苏宜兴	Ⅵ		
安徽定远地震	1868-10-30	5.5	安徽定远			
江苏太湖地震	1872-09-21	5.5	江苏太湖			
江苏镇江地震	1913-04-03	5.5	江苏镇江	Ⅶ		
安徽霍山地震	1917-01-24	6¼	安徽霍山	Ⅷ	NNE	桐柏-磨子潭断裂与落儿岭-土地岭断裂
安徽霍山地震	1917-02-22	5.5	安徽霍山			
江苏镇江地震	1930-01-03	5.5	江苏镇江	Ⅶ		
安徽霍山地震	1934-03-18	5.0	安徽霍山			
安徽合肥地震	1954-06-17	5½	安徽合肥			
江苏溧阳地震	1974-04-22	5.5	江苏溧阳	Ⅶ	NE	茅东断裂或金坛南渡断裂
江苏溧阳地震	1979-07-09	6.0	江苏溧阳	Ⅷ	NE	茅东断裂或金坛-南渡断裂
江苏常熟地震	1990-02-10	5.1	江苏太仓	Ⅵ	NE	

注:地震资料来源于中国地震台网数据

地震的时间特征:公元1300年之前,仅在294、925和999年分别出现一次地震,震中分别位于安徽寿县、江苏徐州和江苏常州,震级分别为 $5\frac{1}{2}$ 级、 $5\frac{3}{4}$ 级和 $5\frac{1}{2}$ 级。这3次地震年份距今较远,本文仅总结1300—2000年700年间地震时间分布特征(见图3,表3),分析发现地震活动具有明显的周期性。自公元1300年以来泛长三角地区经历过2个中强震活跃阶段,在每个活跃期内又有相对平静期和相对活跃期。第一活跃期为1300—1679年,其中1300—1480年为相对平静期,发生地震2次;1481—1679年为相对活跃期,发生地震14次,包括2次6.0级地震(分别是1481年安徽亳州地震和1652年安徽霍山地震)。第二活跃期为1680—2000年,其中1680—1803年为相对平静期,发生地震3次;1804—2000年为相对活跃期,发生地震8次,其中值得注意的是2次 $M_s 6\frac{1}{4}$ 级地震(分别为1831年安徽凤台地震和1971年安徽霍山地震)以及江苏溧阳地区2次地震。总体来看,相对活跃期持续时间大约200 a,平静期持续时间大约150 a。2000年以后该区进入第三活跃期的相对平静期,迄今地震活动性水平较低,发生中强震可能性较小。

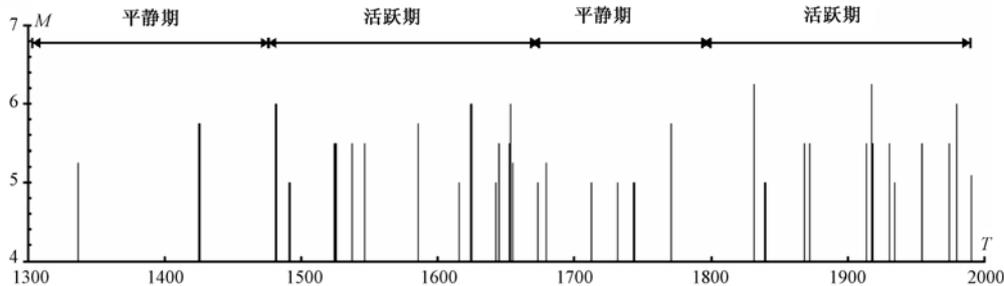


图3 泛长三角地区1300年以来 $M \geq 5.0$ 级地震强度-时间分布图($M-T$ 图)

Fig. 3 Intensity-time map of earthquakes with $M \geq 5.0$ in Pan-Yangtze River Delta region

表3 地震活动期划分简表

Table 3 Division of seismic activity periods

活动期	地震活动期	起止年份	时间间隔/a	地震次数	最大震级 M_s
I (1300—1679)	平静期	1300—1480	180	2	5.0
	活跃期	1481—1679	198	16	6.0
II (1680—2000)	平静期	1680—1803	123	4	5.0
	活跃期	1804—2000	196	13	$6\frac{1}{4}$

地震的空间分布特征:历史与仪器记录的地震数据(见图2,表2)显示,地震的空间分布具有不平衡性。1300—1480年2次地震都发生在大别山东缘安徽六安霍山地区,1481—1679年地震震中大都沿着涡河断裂、郟庐断裂西盘及无锡—宿迁断裂展布;1680—1803年地震震中零散分布在区内,1804—2000年地震震中主要分布在郟庐断裂及茅山断裂周围。总的来看相对活跃期地震多分布于郟庐断裂南段及沿无锡—宿迁断裂的苏西南地区,在以后重大工程建设中应予以重点关注。

3.2 地震烈度特征

地震是地壳岩石在构造应力场作用下发生破裂的表现,地震活动性往往反映了区域现今地壳活动强度的大小,地震震级越大,它与活动构造带的相关性就越好,因此,分析历史强震活动分布,既有利于了解现今地壳活动性,又可为地震烈度区划提供重要信息^[16]。地震烈度不仅可以用来评定已发生的地震对地表和建筑物的破坏程度,也可表示某地区一定时期内可能遭受的地震危险性程度。本文在系统分析根据历史地震及仪器记录的中强震地震目录

(见表2) 绘制的历史地震等震线及烈度区划图^[12~13,17~18,20] (见图4, 极震区 \geq Ⅷ度, 则等震线表达达到Ⅷ度; 极震区 \leq Ⅶ度, 只表达极震区烈度) 的基础上, 结合中国地震烈度区划图(1990), 绘制了泛长三角地区历史地震等震线图及烈度区划图, 结果表明, 该区主要存在较明显的5个烈度大于Ⅶ度区(地震烈度 \geq Ⅶ), 分别包括:

①涡阳—阜阳Ⅶ度区: 最大烈度为Ⅶ度, 主要控震断裂是涡阳断裂与王老人集断裂。曾发生1481年涡阳M6.0级地震。

②六安—霍山Ⅷ度区: 最大烈度为Ⅷ度, 主要控震断裂为落儿岭—土地岭断裂和青山—晓天断裂。1917年1月24日霍山M_s6¼级地震发生在该断裂。

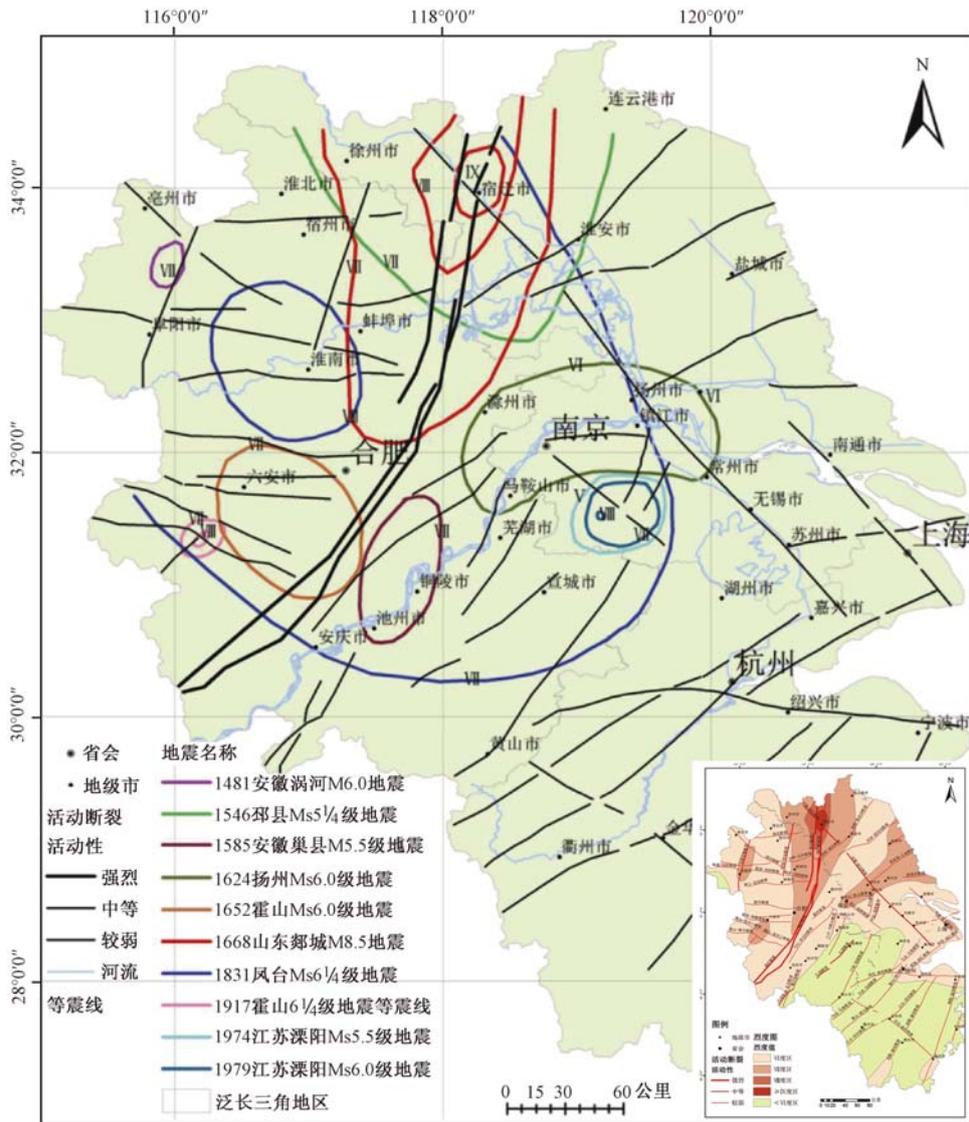


图4 泛长三角地区地震等震线及烈度区划图

(地震等震线资料来源于文献 [14, 35, 36] 及地震志; 烈度区划根据 [28] 绘制)

Fig. 4 Isoseismal and intensity zoning map of earthquakes in Pan-Yangtze River Delta region

③宿迁—肥东—宿松Ⅸ度区:最大烈度 \geq Ⅸ度,主要控震断裂是郟庐断裂带沂泗段。1668年郟城 $M_{8\frac{1}{2}}$ 级地震就发生在该段。

④南京—扬州—镇江Ⅷ度区:最大烈度Ⅷ度,主要控震断裂为幕府山—焦山断裂及茅山断裂。该断裂带附近的镇江、溧阳一带曾多次发生破坏性地震,如1913年4月3日、1934年3月18日镇江 $M_{5\frac{1}{2}}$ 、 $M_{5.0}$ 级地震,溧阳1974年、1979年的 $M_{5.0}$ 和 $M_{6.0}$ 级地震。

⑤上海Ⅶ度区:最大烈度为Ⅶ度,主要控震断裂为奉贤—南汇断裂和昆山—嘉定断裂。由于上海经济发达,偶发的中强震会带来不可忽视的损失,虽该区地震活动较弱但仍有必要提高上海地震烈度等级。

4 讨论

4.1 活动断裂格局与地震活动关系

泛长三角地区位于横贯中国大陆南部的长江经济带东部,其现今地壳活动主要受到东部太平洋板块俯冲动力体系的作用和影响,存在和新生了许多规模和活动性不等的活动断裂。活动断裂分布(见图2)显示,北东/北北东向断裂与北西向断裂相互交叉,将整个地区编织成类似棋盘形状,其中一些近东西向断裂穿插而过,亦即该区活动断裂格局总体呈现“棋盘格子”形状。对泛长三角地区历史破坏性地震发生的构造应力场背景^[7,10,18,26,29,33]进行分析可以得出:断裂的两端及中点处或者拐折处均容易发生地震,而中强震多发生在2组或2组以上断裂的交汇处;地震活动与新构造运动具有共生性,中强地震多沿着断裂带发生,如第四纪晚期有明显活动的断裂带等;大中型拗陷带,特别是新生代拗陷带是强震产生的主要地带,如郟庐断裂带是中新生代拗陷带。

泛长三角地区北东向断裂形成时代早、规模大,是该区早期构造骨架的主要断裂带。本区的多数北西向及近东西向断裂带与现代地震关系密切。从区域上还可以发现,一系列中、强地震沿着无锡—宿迁北西向断裂分布,并且总体来看地震分布呈现“人”字形沿着郟庐断裂及无锡—宿迁断裂分布,可能暗示两者的地震活动存在一定的动力学联系。另外,泛长三角地区隐伏的第四纪断裂带规模均较大,具有发生中强地震的地质构造条件。

4.2 潜在震源区分析

根据目前的研究程度,未来地震危险性分析主要是指出未来更易于发生中强震($M \geq 6.0$)或大地震($M \geq 7.0$)的空间位置,为“十三五”期间工程抗震设防和城市防震减灾提供重要的参考依据。因此本文在遵循前人^[16,33]总结的地震连锁反应准则的基础上,结合活动断裂、地震烈度区划等,对泛长三角地区未来地震活动进行科学评估,认为该区主要存在如下几个应给予关注的潜在震源区:

①六安—霍山潜在震源区:位于大别山东缘,主要发震断裂为青山—晓天、梅山—龙河口北西向断裂与落儿岭—土地岭北东向断裂。历史上霍山是地震多发区,该区已发生最高震级 $M_{6\frac{1}{4}}$ 级地震,据此可以评估未来地震危险性较高,潜在震级上限可以至 $M_{6.5}$ 级。

②宿迁—肥东—宿松潜在震源区:位于郟庐断裂带南段。因郟庐断裂在山东境内已发生过大震,根据地震迁移性,郟庐断裂南段发生中强地震的可能性较高。推断本区的潜在震级可能在 $M_{7.5}$ 级以上。

③无锡—苏州潜在震源区:位于无锡—宿迁断裂南段。沿无锡—宿迁断裂北段均已发生过较大破坏性地震,如1979年溧阳地区 $M_{6.0}$ 级地震、1624年江苏扬州 $M_{6.0}$ 地震,而本

区与北段地质构造相同,均处于无锡—宿迁断裂与一系列北东向断裂交汇处,且还未发生中强地震,因此本区潜在震级可以至 $M_s 6.5$ 级。

④杭嘉湖潜在震源区:处于上海—杭州断裂带,其范围包括嘉兴、湖州、杭州和富阳等浙北平原广大地区。受到萧山—球川断裂等发震断裂影响,与北西向断裂交汇处地震活动性增强。据历史地震记载,本区有感地震密集,最大震级 $M_s 5.0$,推断本区潜在震级可至 $M_s 5.5$ 。

⑤镇海—温州潜在震源区:处于镇海—温州断裂带,区域内地震主要发生在昌化—普陀断裂与镇海—温州断裂交汇部位附近,并且近年来在舟山弱震不断发生。推断本区潜在震级可以至 $M_s 5.5$ 级。

4.3 地壳稳定性评价

区域地壳稳定性调查与评价是基于我国著名地质学家李四光于 20 世纪 60 年代提出的“安全岛”思想发展起来的创新性理论,主要用于重大工程与城市建设等的前期规划与选址的地质构造与工程地质稳定性的分析与评价。

区域地壳稳定性泛指在内外动力地质作用下地壳的稳定程度。根据前述的泛长三角地区主要活动断裂特征及地震活动特征可知,该区以郟庐断裂的第四纪活动性最为强烈,无锡—宿迁断裂和江南断裂等的活动性中等,其他大多数断裂的活动性较弱。而区域上地震活动多以弱震为主,中强震次之,大部分区域属于 $\leq VI$ 度区。因此,根据目前已知的断裂活动性与地震活动性的差异,可初步将泛长三角地区的区域地壳稳定性分为相对稳定区、次稳定区及相对不稳定区 3 个级别。通过初步的综合分析后,笔者认为其中较为明显的次稳定区(大致对应易发中强地震的潜在震源区)主要包括:

①六安—霍山地区,是一个较为活动的地区,那里一直在侧向挤压应力的作用下持续上隆,但该区地壳介质较为破碎,能量难以过量聚集,故不易蕴育大震,多以中小震为主。

②无锡—苏州地震危险区,对应于无锡—宿迁断裂南段,其中无锡—宿迁断裂与区域上北东—北北东向断裂交汇处强震发生的可能较大。

③南京—扬州地震危险区,位于茅山断裂与金坛—南渡断裂北端与无锡—宿迁断裂交汇部位,历史上的中强地震活动较为突出。区域上最显著的相对不稳定区应该是宿迁—肥东—宿松地区,因为该区位于郟庐断裂带南段,由于郟庐断裂中段的山东境内已发生大震,根据地震常具有的分段迁移特点,郟庐断裂南段未来发生中强地震的可能性较高。

5 结论

泛长三角地区主要发育有北东/北北东、北西及近东西向断裂带共计 38 条,其北东/北北东向断裂带活动性较强,其次是北西向,最后是近东西向。因此,北东/北北东向是本区重要控震和发震断裂构造。其中不同走向断裂交汇处往往是地震最易发生的地点,同一条断裂带两端以及折弯处也都是值得注意的潜在地震发生部位。

在遵循前人总结的地震连锁反应准则的基础上,结合活动断裂、地震烈度区划等对泛长三角地区未来地震的活动进行评估认为,该区值得关注的潜在震源区主要包括六安—霍山潜在震源区、宿迁—肥东—宿松潜在震源区、无锡—苏州潜在震源区、杭嘉湖潜在震源区、镇海—温州潜在震源区。

在泛长三角地区,除郟庐断裂带外,其余活动断裂的活动性以中等活动和弱活动为主,

因此,该区大部分区域属于地壳相对稳定区和次稳定区,其中需进一步调查和关注的次稳定区和不稳定区是区域性北东向断裂与北西向断裂交汇的六安—霍山、无锡—苏州与扬州—南京地区地壳次稳定区和郯庐断裂带沿线的宿迁—肥东—宿松地壳相对不稳定区。建议未来在重大工程建设和城镇规划中应进一步加强相关区域的地壳稳定性调查评价工作。

参 考 文 献

- [1] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社,1987.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. Regional geology of Anhui province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [2] 江苏地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志 [M]. 北京:地质出版社,1984:1~10.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangsu Province. Regional geology of Jiangsu Province and Shanghai City [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 1~10.
- [3] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社,1989.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Pprovince. Regional geology of Zhejiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [4] 朱煌武. 安徽省地震监测志 [M]. 合肥:安徽大学出版社,2004.
ZHU Huang-wu. Anhui earthquake monitoring [M]. Hefei: Anhui University Press, 2004.
- [5] 江苏省地震局. 江苏省地震监测志 [M]. 南京:河海大学出版社,2008.
Series of Seismological Bureau of Jiangsu Province. Seismological monitoring of Jiangsu Province [M]. Nanjing: Publishing House of Hehai University, 2008.
- [6] 陈学庭. 浙江省地震监测志 [M]. 北京:地震出版社,2004.
CHEN Xue-ting. Seismological monitoring of Zhejiang Province [M]. Beijing: Seismological Press, 2004.
- [7] 王斌,梁雪萍,周健. 江苏及其周边地区断裂活动性与地震关系的分析 [J]. 高原地震,2008,20(1):38~43.
WANG Bin, LIANG Xue-ping, ZHOU Jian. Analysis on relationship between fault activity and earthquakes in Jiangsu Province and its adjacent area [J]. Plateau Earthquake Research, 2008, 20(1): 38~43.
- [8] 方良好,童远林,赵朋,等. 安徽北部涡河断裂第四纪活动特征及地震危险性初步研究 [J]. 防灾科技学院学报,2015,(1):19~25.
FANG Liang-hao, TONG Yuan-lin, ZHAO Peng, et al. Preliminary study on characteristics of Quaternary tectonic activity and seismic hazard of Guohe fault in northern part of Anhui Province [J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2015, (1): 19~25.
- [9] 陈安国,刘东旺,郑海刚. 安徽地区历史及现代地震活动与断裂活动性关系研究 [J]. 华北地震科学,2009,27(4):16~21.
CHEN An-guo, LIU Dong-wang, ZHENG Hai-gang. Study on historical and modern seismicity and fault tectonic in Anhui area [J]. North China Earthquake Sciences, 2009, 27(4): 16~21.
- [10] 姚大全,张杰,沈小七. 安徽霍山地区断层活动习性研究的新进展 [J]. 地球物理学进展,2006,21(3):776~782.
YAO Da-quan, ZHANG Jie, SHEN Xiao-qi. New progress in the study of fault activity in the Huoshan area, Anhui [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 776~782.
- [11] 郑颖平,翟洪涛,李光,等. 安徽南部葛公镇断裂活动性初探 [J]. 西部探矿工程,2012,24(11):111~114.
ZHENG Ying-ping, ZHAI Hong-tao, LI Guang, et al. Gegongzhen fault activity in Southern Anhui [J]. West China

- Exploration Engineering, 2012, 24 (11): 111~114.
- [12] 余钦范, 王晓青. 安徽省及其邻区航磁异常特征与地震活动性 [J]. 中国地震, 1987, 3 (3): 51~59. .
YU Qin-fan, WANG Xiao-qing. The characteristics of aeromagnetic anomalies and the relation to the earthquake activities in Anhui Province and its vicinity [J]. Earthquake Research in China, 1987, 3 (3): 51~59.
- [13] 郑颖平, 翟洪涛, 李光, 等. 安徽省未来中强震活动背景分析 [J]. 内陆地震, 2010, 24 (4): 340~344.
ZHENG Ying-ping, ZHAI Hong-tao, LI Guang, et al. The background analysis of future moderate-strong earthquake activity in Anhui Province [J]. Inland Earthquake, 2010, 24 (4): 340~344.
- [14] 侯康明, 熊振, 李丽梅. 对江苏省溧阳 2 次破坏性地震发震构造的新认识 [J]. 地震地质, 2012, 34 (2): 303~312.
HOU Kang-ming, XIONG Zhen, LI Li-mei. New insights into the seismogenic structures of the two destructive earthquakes in Liyang [J]. Seismology and Geology, 2012, 34 (2): 303~312.
- [15] 梅岩辉, 张微, 吴建勇. 多元信息在断裂空间展布调查中的应用——以马金-乌镇断裂为例 [J]. 科技通报, 2013, 29 (1): 110~113.
MEI Yan-hui, ZHANG Wei, WU Jian-yong. An application of multivariate information in the investigation of the spatial distribution of faults: A case study of the Majin-Wuzhen fault [J]. Bulletin of Science and Technology, 2013, 29 (1): 110~113.
- [16] 吴中海, 赵希涛, 范桃园, 等. 泛亚铁路滇西大理至瑞丽沿线主要活动断裂与地震地质特征 [J]. 地质通报, 2012, 31 (2): 191~217.
WU Zhong-hai, ZHAO Xi-tao, FAN Tao-yuan, et al. Active faults and seismologic characteristics along the Dali-Ruili railway in western Yunnan Province [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31 (2): 191~217.
- [17] 闫素萍, 陈宇卫, 李敏莉, 等. 华东地区 $M_s \geq 5.0$ 地震持续平静的意义 [J]. 地震地磁观测与研究, 2005, 26 (6): 1~8.
YAN Su-ping, CHEN Yu-wei, LI Min-li, et al. The meaning of $M_s \geq 5.0$ earthquake keep silence in East China [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2005, 26 (6): 1~8.
- [18] 陈宇卫, 凌学书, 余华扬, 等. 华东地区强震活动的特点及其应用 [J]. 中国地震, 1999, 15 (2): 167~177.
CHEN Yu-wei, LING Xue-shu, YU Hua-yang, et al. Characteristics and application of strong earthquake activity in East China [J]. Earthquake Research in China, 1999, 15 (2): 167~177.
- [19] 翟文建, 齐小兵, 章泽军. 江南断裂构造属性及成生环境初探 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33 (3): 372~380.
ZHAI Wen-jian, QI Xiao-bing, ZHANG Ze-jun. A preliminary study of tectonic attribute and formation environment of Jiangnan Fault [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33 (3): 372~380.
- [20] 方良好, 童远林, 赵朋, 等. 安徽北部涡河断裂第四纪活动特征及地震危险性初步研究 [J]. 防灾科技学院学报, 2015, 17 (1): 19~25.
FANG Liang-Hao, TONG Yuan-Lin, ZHAO Peng, et al. Study on the Quaternary active features and seismic hazard of the vortex River in the north of Anhui [J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2015, (1): 19~25.
- [21] 王一宽. 江苏中强地震与活动断裂关系的初步探讨 [C] //长三角科技论坛防震减灾学术分论坛. 2007.
WANG Yi-kuan. Preliminary study of Jiangsu strong earthquakes and active faults [C] //The Yangtze River Delta Forum on science and technology in earthquake prevention and disaster reduction academic forum. 2007.
- [22] 葛炳生. 上海及邻近地区地震活动的特征 [J]. 上海国土资源, 1981, (4): 16~24.
GE Bing-sheng. The characteristics of seismic activity in Shanghai and its neighboring areas [J]. Shanghai Land and Resources, 1981, (4): 16~24.
- [23] 朱积安, 朱履熹, 刘宜栋, 等. 上海及邻区的地质构造与地震活动 [J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1984, (4): 81~90.

- ZHU Ji-an, ZHU Lü-xi, LIU Yi-dong, et al. Geological structure and seismic activity in Shanghai and its vicinity [J]. Journal of China Normal University: Natural Science Edition, 1984, (4): 81~90.
- [24] 朱履熹. 上海及邻区新构造应力场初步探讨 [J]. 上海国土资源, 1990, (1): 45~55.
- ZHU Lü-xi. A preliminary study of the neotectonic stress field in Shanghai and its vicinity [J]. Shanghai Land and Resources, 1990, (1): 45~55.
- [25] 段光贤, 刘昌森. 上海及其邻近地区地震地质特征及上海基本地震烈度的初步认识 [J]. 上海国土资源, 1987, (1): 1~9.
- DUAN Guang-xian, LIU Chang-sen. Preliminary understanding of the seismic geological characteristics of Shanghai and its adjacent areas and the basic seismic intensity of Shanghai [J]. Shanghai Land and Resources, 1987, (1): 1~9.
- [26] 刘东旺, 夏瑞良, 沈小七, 等. 郟庐断裂带安徽段现代地震活动及应力场特征研究 [C] //中生代以来中国大陆板块作用过程学术研讨会论文集. 2005.
- LIU Dong-wang, XIA Rui-liang, SHEN Xiao-qi, et al. The modern seismic activity and stress field characteristics of Tanlu faults zone in Anhui section [C] //The academic seminar on the role of the plate in China since the Mesozoic Era. 2005.
- [27] 虞永林. 温州—镇海复式断裂带全新世构造运动及地震的地质构造标志 [J]. 浙江地质, 1992, 8 (1): 30~37.
- YU Yong-lin. The Holocene tectonic movement of Wenzhou-Zhenghai Multiple Belt and the geo-structural mark of earthquake [J]. Geology of Zhejiang, 1992, 8 (1): 30~37.
- [28] 陶夏新. 我国新的地震区划编图和中国地震烈度区划图 (1990) [J]. 自然灾害学报, 1992, 1 (1): 99~109.
- TAO Xia-xin. The new national seismic zonation and the seismic intensity zoning map of China (1990) [J]. Journal of Natural Disasters, 1992, (1): 99~109.
- [29] 傅建武. 长三角城市群 (浙江) 地震科技发展规划 [C] //长三角科技论坛防震减灾学术分论坛. 2007.
- FU Jian-wu. The earthquake science and technology development planning of the Yangtze River Delta city group (Zhejiang) [C] //Yangtze River Delta Forum on science and technology forum for earthquake prevention and disaster reduction. 2007.
- [30] 姚琪, 陈汉林, 张微, 等. 浙江杭州地区孝丰—三门湾断裂晚第四纪活动性研究 [J]. 高校地质学报, 2008, 14 (4): 601~609.
- YAO Qi, CHEN Han-lin, ZHANG Wei, et al. Zhejiang Hangzhou Xiaofeng-Sanmen Bay late Quaternary fault activity [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14 (4): 601~609.
- [31] 陈立峰. 浙江省沿海北东向断裂活动性研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- CHEN Li-feng. Study on the activity of the faults in the east coast of Zhejiang province [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [32] 竺国强, 姜继双, 陈粹军, 等. 浙西北江山—绍兴断裂带构造演化特征 [J]. 浙江地质, 1997, 13 (2): 6~10.
- ZHU Guo-qiang, JIANG Ji-shuang, CHEN Zi-jun, et al. Tectonic evolution and deformational features of Jiangshan-Shaoxing fracture zone in northwestern Zhejiang [J]. Geology of Zhejiang, 1997, 13 (2): 6~10.
- [33] 鄢家全, 贾素娟. 中强地震潜在震源区划分原则和方法的研究进展 [J]. 国际地震动态, 1997, (2): 1~7.
- YAN Jia-quan, JIA Su-juan. Moderate strong earthquake potential source division principles and methods of research progress [J]. Recent Developments in World Seismology, 1997, (2): 1~7.
- [34] 黄汲清. 按大地构造观点进行中国地震地质区划的尝试 [J]. 中国地质科学院院报, 1979, 1 (1): 18~30.
- HUANG Ji-qing. An attempt to the seismological regionalization of China according to the tectonic point of view [J]. Journal of China Academy of Geological Sciences, 1979, 1 (1): 18~30.
- [35] 高维明, 郑朗荪, 李家灵, 等. 1668年郟城8.5级地震的发震构造 [J]. 中国地震, 1988, 4 (3): 9~15.
- GAO Wei-ming, ZHENG Lang-sun, LI Jia-ling, et al. The earthquake of 8.5 magnitude earthquake in Tancheng in 1668 [J]. Earthquake Research in China, 1988, 4 (3): 9~15.

- [36] 张志中, 张征宇, 吴健, 等. 皖南地区历史地震略考 [J]. 震灾防御技术, 2013, 8 (3): 292 ~ 302.
ZHANG Zhi-zhong, ZHANG Zheng-yu, WU Jian, et al. Historical earthquakes in southern Anhui Province [J]. Earthquake Disaster Prevention Technology, 2013, 8 (3): 292 ~ 302.
- [37] 郑月军, 张世民, 崔效锋, 等. 地震震源机制解在华南及邻区潜源区长轴方向判定中的应用 [J]. 中国地震, 2006, 22 (1): 24 ~ 33.
ZHENG Yue-jun, ZHANG Shi-min, CUI Xiao-feng, et al. Application of the seismic source mechanism in the determination of the long axis of the potential source region of Southern China and its adjacent area [J]. China Earthquake, 2006, 22 (1): 24 ~ 33.

BASIC CHARACTERISTICS OF THE MAIN ACTIVE FAULTS AND SEISMIC ACTIVITIES IN PAN YANGTZE RIVER DELTA REGION

WANG Hao-nan^{1,2}, WU Zhong-hai^{2,3}, LI Hao-min^{1,2}

(1. College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

3. Key Lab of Neotectonic Movement and Geohazards, Ministry of Land and Mineral Resources, Beijing 100081, China)

Abstract: On the basis of systematically collecting and sorting the data of predecessors' achievements, and combination of basic geology and remote sensing interpretation, we comprehensively analyzed and sorted out the main active faults and their activity in Pan-Yangtze River Delta region. According to the main regional faults and the activity of historical earthquakes, this paper further analyzed, and pointed out the potential focal region that needs special attention and region of relatively poor crustal stability in this area. The research results show that, there are 38 active faults with relatively strong activity, mainly being in the directions of northeast and northwest. The former mainly on right lateral strike slip activity, the later mainly on left lateral strike slip activity. Then east-west faults with poor activity followed. Furthermore, combining the information of historical earthquake activity, we find that the convergence position of the two groups of fault zone with different directions are often the sites of earthquake occurrence. The most prominent controlled earthquake faults are northeast-orientational Tanlu fault and northwest-orientational Wuxi-Suqian fault.

Key words: Pan-Yangtze River Delta region; neotectonics; active fault; potential seismic source area; crustal stability