

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0478-22

长江中游湖南、湖北地区主要 活动断裂及地震地质特征

李浩民^{1,2}, 吴中海^{2,3}, 王浩男¹, 王果胜¹

(1. 中国地质大学(北京)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. 国土资源部新构造与地质灾害实验室, 北京 100081)

摘要: 通过收集整理前人成果资料, 结合湖南、湖北地区地震地质特征、历史近代地震数据等, 全面梳理分析该区主要活动断裂及历史地震, 总结该区主要活动断裂系(带)及控震特征、地震活动性及时空分布特征。研究表明, 该区主要活动断裂以北东、北北东、北西向为主, 主要活动断裂系有6个, 自北向南分别为秦昆北西向断裂系、鄂东北东向断裂系、江汉—洞庭盆地断裂系、鄂西—湘西北东向断裂系、湘中南北东向断裂系、湘东北东向断裂系, 其中第四纪活动较为显著且影响程度大的是江汉—洞庭盆地断裂系及秦昆北西向断裂系西段。“两湖”地区地震活动水平相对较低, 正处于第三活动期的相对平静期。结合近代中强震资料及中国地震烈度区划特征分析认为, 江汉—洞庭盆地南部的东、西边界、鄂州—黄冈—武汉一带以及鄂西北断块隆起区地壳较不稳定, 具有发震潜力, 应在城市群规划建设、护江大堤设防和重大工程建设中予以特别关注。

关键词: 长江中游; 湖南、湖北地区; 新构造; 活动断裂; 地震活动性; 地壳稳定性评价

中图分类号: P546; P315.2

文献标识码: A

湖北、湖南地区(以下简称“两湖”地区)作为长江经济带的战略要地, 占有长江中游城市群中的两大主要城市群——武汉城市群、长株潭城市群, 在整个长江经济带中一直起着承东起西、连南接北的作用。“两湖”地区地质构造条件复杂, 断裂发育且分布范围广, 其中由于江汉—洞庭湖盆地区内第四纪盖层较厚, 许多断裂的最新活动时代难以确定, 为分析评价地壳稳定性和地震危险性带来了极大的困难^[1~3]。历史地震资料表明, “两湖”地区隶属于长江中下游地震带^[4~5], 位于滨太平洋地震域南部弱震区^[6], 弱震频发、强震较少^[7~8]、灾难性小、灾害性大, 时间和空间分布极不平衡, 因其地居我国中心位置, 易受邻省地震的威胁^[9], 多数地区的地震烈度在Ⅵ度和Ⅵ度以下^[5], 以轻度破坏和强有感为主, 震源主要集中在断陷盆地和活动断裂交汇处^[10], 对长江中游地区城镇规划、铁路、油气管

收稿日期: 2016-04-18

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: 李浩民(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向为活动构造地质学。E-mail: ilihaoamin2012@163.com

通讯作者: 吴中海(1974-), 男, 研究员, 从事活动构造与地震地质研究。E-mail: wzhh4488@sina.com

道等生命线工程及核电站、水电站等重大工程的建设有着潜在的影响。前人曾分别对这两个地区的活动断裂和地震地质做过大量的研究工作,如:韩竹军等^[11]、童敏等^[12]、毛际香等^[13]对控制洞庭湖断陷盆地的活动断裂特征进行研究,并总结了该地区的地震活动性特征;丁丹等^[14]、王静瑶^[15]、奉行和等^[16]、敬少群等^[17]分别对巴东、常德等地的历史地震及其与活动断裂的关系进行了再考证,并对地震的震级、烈度、震源机制等进行分析研究。但這些研究区主要针对历史上发震频繁、震级较大的断裂及盆地附近,很少把“两湖”地区作为整体进行研究,对活动性较小但有可能诱发地震的活动断裂的研究程度较低,在“两湖”地区的活动断裂和特征以及区内地震分布规律的认识上还存在不足,这就难以为长江中游地区地震危险性评价和地壳稳定性评价提供可靠的证据,进而不能为“十三五”长江经济带重大工程规划建设和生态文明建设提供有效的支撑。本文在总结前人工作的基础上,重新对“两湖”地区的主要活动断裂进行系统地梳理、总结,划分不同断裂系(带),总结活动断裂特征,重点分析对重大工程和大城市影响程度大的活动断裂,并进一步统计梳理历史地震,总结地震活动规律及分布特征,评价区域地壳稳定性,对未来地震震可能发生的地段提出新的认识,为“十三五”规划重大工程的安全建设与实施提供参考依据。

1 区域地质概况

“两湖”地区在大地构造单元划分上位于秦岭褶皱系、扬子准地台、华南褶皱系三大一级大地构造单元的结合部^[1~3](见图1a)。地理位置处于长江中下游平原和江南丘陵的西部,北邻华北平原、南接“两广”丘陵、西与四川盆地和云贵高原接壤,地势西高东低,处于我国地势的第2、3级阶梯的分界处。区内分布着洞庭湖平原、江汉平原、雪峰山、武当山等。平原区海拔多在200 m以下至海平面,与华北平原、东北平原、北部湾等构成了以古近纪、新近纪和第四纪沉积物为覆盖层的北北东向巨型沉降带,即新华夏系第二沉降带。山系、丘陵多为北东—北北东向,山脉属于环太平洋山系,海拔多在1500 m以上,控制着区内河流的流向和分布,与北东—北北东向展布的盆地平原相间排列^[18]。鄂东隆起带、东南丘陵和武当山、巫山、武陵山、雪峰山等山脉分别隶属于新华夏系第二、三隆起带^[19~20],在“两湖”地区形成了“两隆夹一凹”的独特地貌。区内湖泊众多,河流纵横交错,属太平洋水系^[18],新构造运动的垂直差异活动、间歇性不均衡隆升、拗陷及掀斜运动,使山地遭受侵蚀,形成多级剥夷面,从而使各方的河流向中部汇入长江,并沿湘江、资水、汉江等发育5级以上河流阶地^[21],控制了河流水系变迁的地质条件^[22]。“两湖”地区地下温泉丰富,分布广泛,主要赋存于岩溶裂隙含水层及构造破碎带中;从温泉出露的构造背景来看,温泉多沿活动性断裂带呈串珠状分布(见图1b),并大都出露在断裂上盘,与该区地震呈相互消长的关系,其分布与发生主要受到了新华夏系与华夏式构造体系的控制^[7~8,21,23]。

“两湖”地区现今的地质构造面貌是在漫长的地质演化中多次构造运动所造成的构造类型的综合,是印支—燕山—喜马拉雅构造运动的主要产物。其中,多数地区的山脉平原古老基地多为晋宁运动期间扬子板块与华北板块发生碰撞所形成的褶皱基地及盖层,湘南等部分地区的地貌基地则为加里东期形成的褶皱带及盖层,而从印支末期开始发育经历了燕山期、喜马拉雅期各个不同的构造变动历程并从华夏系构造基础上发育起来的新华夏构造体系控制了“两湖”地区后期的基本构造格架(见图1b),在“两湖”地区的地形地貌变迁中占主导地位^[19~20]。

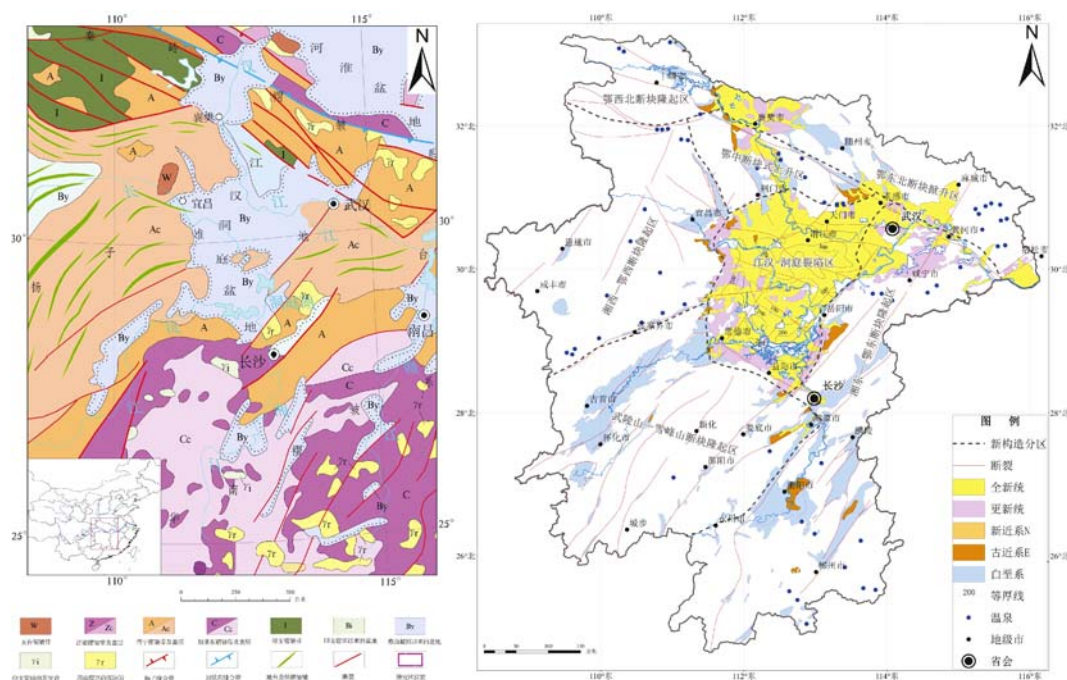


图1 “两湖”地区大地构造简图及新构造简图(据2002版中国地图集及文献[21, 24, 27]修编)

Fig.1 Geotectonic and neotectonic sketch of Hunan and Hubei areas

“两湖”地区在地史发展中经历了广西运动、燕山运动等多次规模强大的造山运动,其中侏罗纪末期的燕山运动是该地区主要构造体系完善定型的极为重要的时期。该构造运动既有褶皱运动又有断块运动,地壳活动广泛,岩浆作用强烈,控制着区内断陷盆地、扬子台褶带、岩浆作用的形成与演化,其早期以隆起、拗陷及大型断裂为主,晚期以强烈的断裂活动为主^[25~26]。此外,在此次构造运动期间,新华夏系形成,山字型构造、东西向构造、北西向构造等构造体系重新活动并进一步发展演化^[19~20]。发生在新生代的喜马拉雅运动使得区内古近系—第四系普遍出现不整合现象,断块运动减弱,岩浆作用消失,近代地貌的雏形基本形成;到第四纪时期,经过燕山期和喜马拉雅期强烈的构造变动,全区现代山川地貌的轮廓已经形成,地壳运动以缓慢波状隆起、拗陷为主,第四纪构造地貌现象随处可见,古老断裂重新活动,地震时有发生^[25~26]。

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向北低角度俯冲碰撞和东侧西太平洋板块向西高角度俯冲双重动力体系的控制。“两湖”地区又位于中国大陆的中部,地处三大性质不同的一级构造单元的结合部,其地壳活动性显然受到东、西两大动力体制的影响,应力场以近东西向的水平挤压为主,这就导致该区的古老构造形迹在新构造期间发生了不同程度的复活,出现了许多规模和活动性不等的活动断裂及断块隆起区、裂陷区(见图1b),断裂的继承性活动、断块的差异性升降运动、掀斜活动等便成为该区新构造运动的主要类型,控制了该区现今地形地貌的发育和地震的发生^[21, 27]。由于该区活动断裂多以盖层断裂为主,切割深度浅,活动性弱,趋于僵化,相对运动量小,应力常难以集中^[10],能量多以温泉的形式释放,因此强震发生频度低,但总体上弱震较为频繁,震中分布密集,对现今“两湖”地区的重大工程和城市群建设有潜在的影响。

2 主要活动断裂及控震特征

活动断裂是指晚第四纪期间(特指距今0.10~0.15 Ma)曾多次活动且未来仍将活动的断裂带^[28~30],是诱发地震及各类地质灾害的重要构造。从我国已发生的强震的震中分布看,多数地震都位于活动断裂带之上。因此,作为最新地表构造形迹,其活动特征必是重大工程建设前要考虑的重要因素之一。从中国活动断裂体系的划分来看,“两湖”地区的活动断裂属于滨太平洋活动断裂体系^[31],其特征为:断裂活动总体以继承性多期活动为主,北东—北北东向断裂最为发育,北西、东西向次之,规模一般较小;运动性质以走滑为主,最新活动时代主要集中在中、晚更新世,极少见到全新世以来的活动断裂;活动速率一般小于1 mm/a(见表1),按前人关于活动断裂级别的划分方案^[31]多属三级活动断裂($1 > V \geq 0.1$ mm/a)或四级活动断裂($V < 0.1$ mm/a),活动性较弱。

本文通过梳理和总结已有的地质资料,结合现代地貌景观、大地构造、新构造运动、断裂展布方向等因素,对“两湖”地区的38条主要活动断裂进行了梳理总结与分析,将它们归纳为6个断裂系,自北向南依次为:秦昆北西向断裂系、鄂东北东向断裂系、江汉—洞庭盆地断裂系、鄂西—湘西北东向断裂系、湘中南北东向断裂系、湘东北东向断裂系。

2.1 秦昆北西向断裂系

该断裂系主要分布于秦岭褶皱系与扬子准地台的分界处及秦岭褶皱系内,是湖北省内发育较广泛、影响较深远的断裂系,其对湖北省南北大地构造单元的长期分化与秦岭褶皱系的发生、发展和形成以及近代地貌的形成演化和地震的发生均具有重要意义和控制作用^[25]。主要断裂包括:两陨断裂(均陨断裂)、襄樊—广济断裂(青峰—襄樊—广济断裂)、宝丰—房县断裂、竹溪断裂、青峰断裂;这些断裂循秦岭造山带走向密集成带分布,多呈北西或北西西向,规模长度不一,多集中分布在鄂西北地区(见图2),控制着房县—宝丰盆地、竹溪盆地、南襄盆地等的构造变动及演化,这些盆地沿断裂带常呈串珠状展布^[32~33]。新构造运动期间,断裂带活动迹象显著,断层三角面、水系错断、河流阶地、温泉等地貌现象明显,如:汉水发育四级阶地(相对高程分别为10~50 m、25~30 m、50 m和70~80 m);沿青峰断裂局部地段出现左旋断错水系,并有4处温泉出露(见图1b)。盆地内堆积了50~300 m厚的第三系红层或第四系冲、洪积物,并被活动断裂切割成若干大小的断块,这些断块在新构造运动期间,上升和下降的幅度及活动速率存在较大差异,为地震的孕育提供了条件。此外,该断裂系运动性质多表现为走滑性质,错动位移量为1~7 km,活动性较弱,活动时代在中更新世—晚更新世。断裂活动造成了两盘地貌的差异性,如:青峰断裂左旋错动位移量在1.7 km^[34],活动速率为0.1 mm/a,在房县盆地内,断裂带南盘为强烈的侵蚀-剥蚀地貌,高程1000~1500 m以上,北盘则为侵蚀-堆积的丘陵,两者反差300~500 m;竹溪断裂右旋错动位移量达7 km,南北盘地貌高程反差多达300 m^[32]。

该断裂系内的许多断裂形成于元古代或古生代,切割深度大,以襄樊—广济断裂最具代表性,它是一条区域性深大断裂,为秦岭褶皱系和扬子地台的分界线^[35],与龙门山断裂同属扬子板块西部和北部边缘^[36]。该断裂东段与其他断裂交汇处是地震的频发地段,自公元前143年以来,沿该断裂曾发生过9次破坏性地震(见表2),最大地震是1634年M5.5级罗田地震。因秦昆断裂系地处两个性质不同的构造单元之间,地震发生频繁,自公元前143年以来,沿该断裂系曾发生过16次 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 破坏性地震,最大地震是公元788年的M6.5级

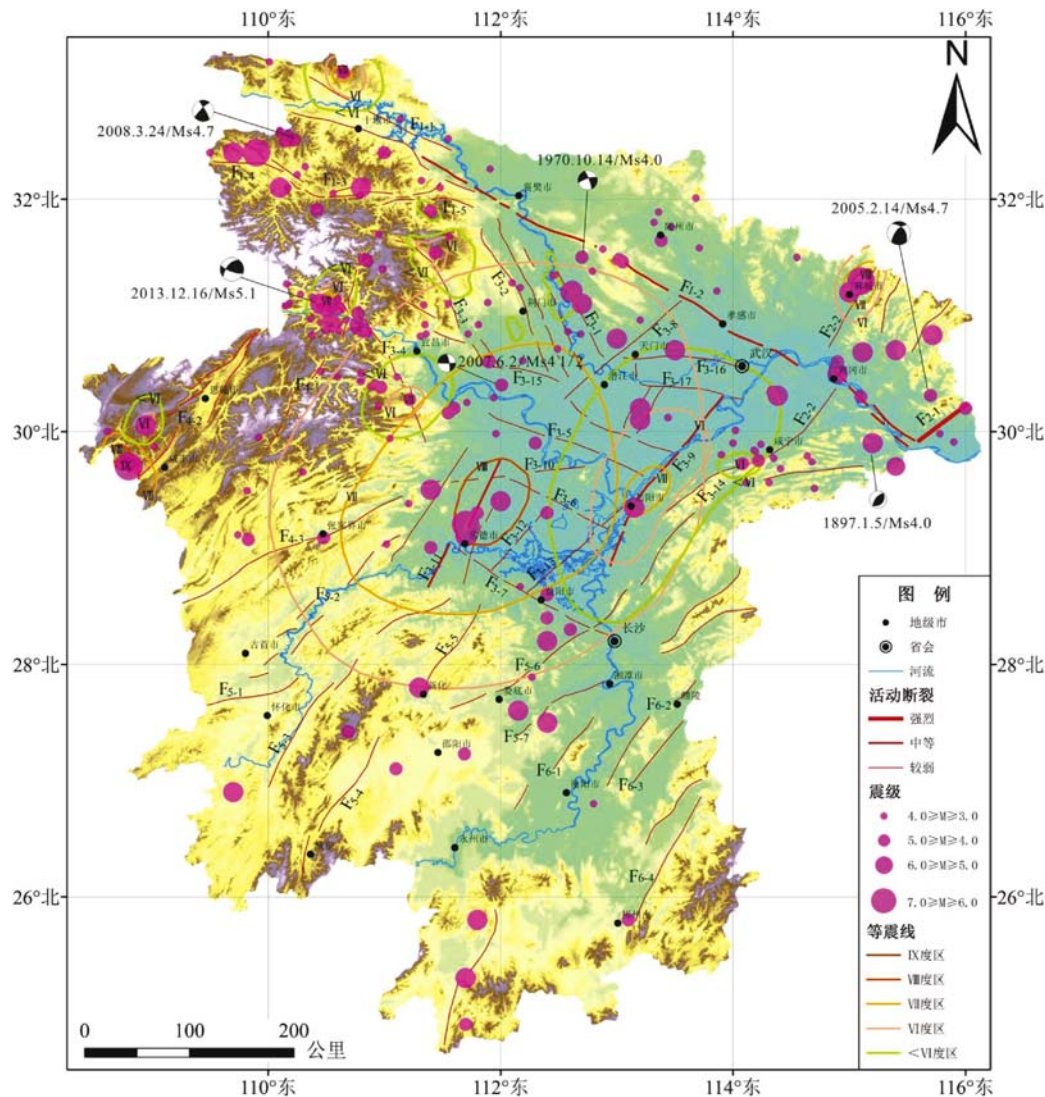
表 1 “两湖”地区主要活动断裂的基本特征

Table1 Basic characteristics of the main active faults in Hunan and Hubei area

断裂系名称及编号	断裂编号	断裂名称	断裂带基本参数				断裂活动性		历史与仪器地震	
			长度/ km	走向	运动性质	活动 强度	活动速率/ mm·a ⁻¹	最新活动 时代	M≥4% 地震数/次	最大地震 (M _s /烈度)
秦昆北西向 断裂系 (F ₁)	F ₁₋₁	两阳断裂	160	NW	逆冲断层	较弱	0.03~0.7	中更新世	15	4.9/VII
	F ₁₋₂	襄樊—广济断裂	400	NW	左旋走滑	中等	—	中更新世		5.5/VII
	F ₁₋₃	宝丰—房县断裂	120	NW	左旋走滑	较弱	0.2~2	中更新世		6.5/VIII
	F ₁₋₄	竹溪断裂	60	近 EW	右旋走滑	较弱	—	晚更新世		5.0/VII
	F ₁₋₅	青峰断裂	230	近 EW	右旋走滑	较弱	0.1	中更新世		5.0/VI
鄂东北东向 断裂系 (F ₂)	F ₂₋₁	郟庐断裂末段	40	NE	右旋走滑兼 正向滑动	强烈	—	—	6	4.75/VI
	F ₂₋₂	麻城—团风断裂	270	NE	右旋走滑	较弱	—	中更新世		6/VIII
江汉—洞庭 盆地 断裂系 (F ₃)	F ₃₋₁	钟祥断裂	140	NNW	左旋走滑	较弱	—	—	31	5.5/VII
	F ₃₋₂	南漳—荆门断裂	180	NNW	左旋走滑	较弱	0.029	早更新世		—
	F ₃₋₃	通城河断裂	200	NNW	正断层兼 右旋走滑	较弱	0.29	更新世		4.8/VI
	F ₃₋₄	仙女山断裂	130	NNW	正断层	较弱	0.137	更新世		4.9/VII
	F ₃₋₅	公安—监利断裂	148	NW	隐伏断裂	较弱	—	早更新世		4.75/VI
	F ₃₋₆	北景港断裂	71	NW	正断层	较弱	—	—		—
	F ₃₋₇	常德—益阳—长沙断裂	130	NW	正断层	较弱	—	中更新世		4.75/VI
	F ₃₋₈	潜北断裂	75	NE	隐伏断裂	较弱	—	—		—
	F ₃₋₉	岳阳—武汉断裂	120	NE	右旋走滑	中等	—	中更新世		5.0/VII
	F ₃₋₁₀	石首—澧县断裂	140	NEE	正断层	较弱	—	中更新世		5.25
	F ₃₋₁₁	常德—荆州断裂	70	NNE	正断层	中等	—	晚更新世		6.75/VIII
	F ₃₋₁₂	南县—汉寿断裂	70	NNE	正断层	较弱	—	中更新世		4.75
	F ₃₋₁₃	岳阳—桃江断裂	75	NE	隐伏断裂	较弱	—	—		—
	F ₃₋₁₄	崇阳—宁乡断裂	181	NNE	正断层兼 右旋走滑	较弱	—	早更新世		5.5
	F ₃₋₁₅	纪山寺断裂	68	近 EW	隐伏断裂	较弱	—	—		4.75/VI
	F ₃₋₁₆	天门河断裂	100	近 EW	隐伏断裂	较弱	—	—		5.0/VI
	F ₃₋₁₇	麻洋潭断裂	110	近 EW	隐伏断裂	较弱	—	—		—
鄂西—湘西 北东向 断裂系 (F ₄)	F ₄₋₁	新华断裂带	50	NNE	正断层兼 右旋走滑	较弱	—	早更新世	4	—
	F ₄₋₂	黔江—恩施断裂带	80	NNE	正断层兼 右旋走滑	较弱	0.43~0.5	早更新世		6.5/IX
	F ₄₋₄	慈利—大庸断裂	200	NEE	正断层	较弱	—	早更新世		4.75/VI
湘中南 北东向 断裂系 (F ₅)	F ₅₋₁	贵阳—芷江—溆浦断裂	174	NE	—	较弱	—	晚更新世	7	—
	F ₅₋₂	沅江—乌宿断裂带	220	NE	右旋走滑	较弱	—	早更新世		—
	F ₅₋₃	安化—洪江断裂	370	NE	正断层	较弱	—	中更新世		5.0/VI
	F ₅₋₄	五团—洞口断裂	169	NNE	逆冲断层	较弱	—	早更新世		—
	F ₅₋₅	新化断裂	90	NE	左旋逆冲	较弱	—	中更新世		5.5/VII
	F ₅₋₆	邵阳—新宁断裂	600	NE	逆走滑	较弱	—	中更新世		5.5/VII
	F ₅₋₇	湘潭—邵东断裂	130	NE	正断层 兼左旋	较弱	—	中更新世		5.0/VI
湘东北东向 断裂系 (F ₆)	F ₆₋₁	衡阳—梧州断裂	550	NE	右旋走滑	较弱	—	中更新世	4	5.0/VI
	F ₆₋₂	醴陵断裂	91	NE	正断层	较弱	—	早更新世		—
	F ₆₋₃	桃水断裂	140	NE	正断层	较弱	—	早更新世		—
	F ₆₋₄	茶陵—永兴断裂	175	NNE	正断层	较弱	—	早更新世		4.73/VI

注：断裂名称、基本参数及活动性主要引自参考文献 [21, 25~27]

竹山地震，本次地震的发震断裂为由宝丰—房县断裂。近代地震是 2006 年随州 M4.7 级地



F₁—秦昆北西向断裂系 (F_{1.1}两坝断裂, F_{1.2}襄樊-广济断裂, F_{1.3}宝丰-房县断裂, F_{1.4}竹溪断裂, F_{1.5}青峰断裂);

F₂—鄂东北东向断裂系 (F_{2.1}郟庐断裂末段, F_{2.2}麻城-团风断裂); F₃—江汉-洞庭盆地断裂系 (F_{3.1}钟祥断裂, F_{3.2}南漳-荆门断裂, F_{3.3}通城河断裂, F_{3.4}仙女山断裂, F_{3.5}公安-监利断裂, F_{3.6}北景港断裂, F_{3.7}常德-益阳-长沙断裂, F_{3.8}潜北断裂, F_{3.9}岳阳-武汉断裂, F_{3.10}石首-澧县断裂, F_{3.11}常德-荆州断裂, F_{3.12}南县-汉寿断裂, F_{3.13}岳阳-桃江断裂, F_{3.14}崇阳-宁乡断裂, F_{3.15}纪山寺断裂, F_{3.16}天门河断裂, F_{3.17}麻洋潭断裂); F₄—鄂西-湘西北东向断裂系 (F_{4.1}新华断裂带, F_{4.2}黔江-恩施断裂带, F_{4.3}慈利-大庸断裂); F₅—湘中南北东向断裂系 (F_{5.1}贵阳-芷江-溆浦断裂, F_{5.2}沅江-乌宿断裂带, F_{5.3}安化-洪江断裂, F_{5.4}五团-洞口断裂, F_{5.5}新化断裂, F_{5.6}邵阳-新宁断裂, F_{5.7}湘潭-邵东断裂); F₆—湘东北东向断裂系 (F_{6.1}衡阳-梧州断裂, F_{6.2}醴陵断裂, F_{6.3}桃水断裂, F_{6.4}茶陵-永兴断裂)

图2 “两湖”地区主要活动断裂与地震分布图

(地震资料据文献 [74~79] 及中国地震台网; 等震线引自文献 [78~79]; 震源机制引自文献 [80] 及中国地震信息网)

Fig. 2 Distribution map of the main active faults and earthquakes in Hunan and Hubei areas

震, 发震断裂为襄樊—广济断裂分支断层^[37]。综上所述可以看出, 该断裂带第四纪继承性活动较为明显, 地震分布具有分段性, 鄂西北裂陷盆地及鄂东北断裂交汇处较为密集^[38], 中段较少。

表 2 “两湖”地区 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级历史地震的地震参数及控震断裂

Table 2 The main parameters of historical earthquakes with $M \geq 4\frac{3}{4}$ and earthquake-controlled faults in Hunan and Hubei areas

编号	地震时间 年、月、日	震中位置		宏观震中	震级	烈度	震源深度/km	等震线 长轴	推测或已确定的 控震断裂
		纬度	经度						
1	公元前 143. 6. 10	32. 2°	110. 4°	湖北竹山西南	5	Ⅵ	—	—	宝丰-房县断裂与竹溪断裂
2	788. 2. 12	32. 4°	109. 9°	湖北房县西北	6½	Ⅷ	—	—	宝丰-房县断裂与竹溪断裂
3	1336. 3. 9	30. 2°	111. 6°	安徽宿松至湖北黄梅间	4¾	Ⅵ	—	—	郟庐断裂
4	1351. 8. 22	30. 6°	111. 9°	湖北枝江北	4¾	Ⅵ	—	—	纪山寺断裂
5	1407	31. 2°	112. 6°	湖北钟祥	5½	Ⅶ	—	—	钟祥断裂
6	1469. 11. 4	31. 2°	112. 6°	湖北钟祥	5½	Ⅶ	—	—	钟祥断裂
7	1470. 1. 8	30. 1°	113. 2°	湖北武汉西南	5	Ⅵ	—	—	沔阳断裂
8	1509	28. 6°	112. 4°	湖南宁乡、益阳、沅江一带	4¾	Ⅵ	—	—	常德-益阳-长沙断裂
9	1516	29. 4°	112. 0°	湖南澧县东南	5	Ⅵ	—	—	太阳山断裂
10	1542. 6. 1	28. 4°	112. 4°	湖南宁乡	4¾	Ⅵ	—	—	常德-益阳-长沙断裂
11	1556. 2. 2	29. 3°	113. 0°	湖南岳阳	5	Ⅶ	—	NW	岳阳-武汉断裂
12	1584. 3. 17	30. 8°	115. 7°	湖北英山	5½	Ⅶ	—	—	襄樊-广济断裂
13	1599. 1. 24	25. 3°	111. 7°	湖南道县南	5	—	—	—	衡阳-梧州断裂
14	1603. 5. 30	31. 2°	112. 6°	湖北钟祥	5½	Ⅵ	—	—	钟祥断裂
15	1605. 3. 19	30. 5°	115. 3°	湖北武昌	4¾	Ⅵ	—	—	襄樊-广济断裂
16	1605. 6. 8	30. 8°	113°	湖北钟祥东南	5	Ⅵ	—	—	钟祥断裂
17	1605. 6. 8	30. 5°	115. 3°	湖北武昌	5	Ⅶ	—	—	襄樊-广济断裂
18	1620. 3. 5	30. 8°	113°	湖北钟祥东南	5	Ⅵ	—	—	钟祥断裂
19	1626. 10. 8	26. 9°	109. 7°	湖南会同	5	Ⅵ	—	—	安化-洪江断裂
20	1628	29. 0°	111. 4°	湖南桃源西北	4¾	Ⅵ	—	—	常德-益阳-长沙断裂
21	1629. 3. 25	30. 3°	115. 1°	湖北黄冈蕲州间	4¾	Ⅵ	—	—	襄樊-广济断裂
22	1630 夏	30. 7°	114. 8°	湖北汉川天门一带	5	Ⅵ	—	—	天门河断裂
23	1630. 10. 14	31. 1°	112. 7°	湖北沔阳	5	Ⅵ	—	—	沔阳断裂、通海口断裂
24	1631. 8. 8	27. 6°	112. 0°	湖南娄底湘乡双峰间	5½	—	—	—	邵阳-新宁断裂
25	1631. 8. 14	29. 2°	111. 7°	湖南常德	6¾	Ⅷ +	—	NE	太阳山断裂
26	1631. 11. 1	28. 2°	112. 4°	湖南宁乡	5½	—	—	—	崇阳-宁乡断裂
27	1631. 11. 8	29. 2°	111. 7°	湖南常德北	5¾	—	—	—	太阳山断裂
28	1632. 2	27. 1°	111. 1°	湖南邵阳西南	4¾	—	—	—	邵阳-新宁断裂
29	1633. 2. 3	32. 4°	109. 7°	湖北竹溪	5	Ⅶ	—	—	竹溪断裂
30	1633. 4. 6	30. 6°	114. 9°	湖北黄冈	4¾	Ⅵ	—	—	襄樊-广济断裂与麻城-团风断裂
31	1634. 3. 26	30. 5°	114. 9°	湖北黄冈、武昌间	5	Ⅵ	—	—	襄樊-广济断裂与麻城-团风断裂
32	1634. 3. 30	30. 7°	115. 4°	湖北罗田	5½	Ⅵ-Ⅶ	—	—	襄樊-广济断裂
33	1639. 4. 15	28. 3°	112. 6°	湖南长沙西北	4¾	—	—	—	常德-益阳-长沙断裂、崇阳-宁乡断裂
34	1640	25. 8°	113. 1°	湖南郴州附近	4¾	Ⅵ	—	—	茶陵-永兴断裂
35	1640. 9	30. 6°	114. 9°	湖北黄冈	5	Ⅵ	—	—	襄樊-广济断裂与麻城-团风断裂
36	1710. 4. 16	27. 8°	111. 3°	湖南新化	5½	Ⅶ	—	—	新化断裂
37	1717. 7. 6	29. 5°	111. 4°	湖南临澧西	5¾	—	—	—	石首-澧县断裂
38	1742 秋	32. 0°	110. 8°	湖北房县	5	Ⅵ	—	—	青峰断裂
39	1782. 4. 30	25. 8°	111. 8°	湖南宁远永州间	5	Ⅵ	—	—	衡阳-梧州断裂
40	1785. 12. 14	29. 3°	112. 4°	湖南临澧东	4¾	—	—	—	南县-汉寿断裂
41	1786	29. 1°	110. 4°	湖南大庸	4¾	Ⅵ	—	—	慈利-大庸断裂
42	1843. 3. 19	29. 3°	111. 8°	湖南慈利东南	4¾	—	—	—	太阳山断裂
43	1850. 5. 9	29. 9°	112. 0°	湖北公安东南	4¾	Ⅵ	—	—	公安-监利断裂
44	1853. 2. 8	24. 9°	111. 7°	湖南江华岭东	4¾	Ⅵ	—	—	衡阳-梧州断裂
45	1856. 6. 10	29. 7°	108. 8°	湖北咸丰、黔江交界大路坝	6½	Ⅸ	8	NW340°	黔江-恩施断裂带
46	1863. 9. 21	29. 2°	114. 1°	湖北通城东南	5	Ⅵ	—	—	崇阳-宁乡断裂
47	1887	32. 4°	111. 0°	湖北武当山	4¾	Ⅵ	—	—	白河-谷城断裂

续表 2

编号	地震时间 年、月、日	震中位置		宏观震中	震级	烈度	震源深度/km	等震线 长轴	推测或已确定 的控震断裂
		纬度	经度						
48	1897. 1. 5	29. 9°	115. 2°	湖北阳新	5	Ⅵ	—	—	襄樊-广济断裂
49	1906. 8. 16	29. 1°	111. 7°	湖南常德	5	Ⅵ	—	—	太阳山断裂
50	1913. 2. 7	31. 2°	115. 0°	湖北麻城	5	Ⅵ	—	—	麻城-团风断裂
51	1931. 7. 1	30. 0°	108. 9°	湖北咸丰、利川南	5	Ⅵ	13	NE	黔江-恩施断裂
52	1931. 8. 12	27. 5°	112. 4°	湖南湘乡	4¾	Ⅵ	—	—	湘潭-邵东断裂
53	1932. 4. 6	31. 4°	115. 0°	湖北麻城黄土岗	6	Ⅷ	13	NE35°	麻城-团风断裂
54	1936. 5. 28	27. 5°	112. 4°	湖南湘乡	5	Ⅵ	—	—	湘潭-邵东断裂
55	1948	31. 9°	111. 4°	湖北保康黄化	4¾	Ⅵ	—	—	通城河断裂
56	1954. 2. 8	29. 1°	113. 2°	湖北蒲圻城东	4¾	Ⅵ	8	NEE	崇阳-宁乡断裂
57	1961. 3. 8	30. 3°	111. 2°	湖北宜都潘家湾北	4. 9	Ⅶ	14	近 SN	仙女山断裂
58	1964. 9. 5	33. 1°	110. 7°	湖北郧西、郧县	4. 9	Ⅶ	9	NW	两陨断裂
59	1969. 1. 2	31. 5°	111. 4°	湖北保康马良坪东南	4. 8	Ⅵ	14	NW	通城河断裂
60	1979. 5. 22	31. 1°	110. 5°	湖北秭归	5. 1	Ⅶ	16	NE45°	新华断裂与仙女山断裂
61	2006. 10. 27	31. 4°	113. 2°	随州三里岗	4¾	—	—	—	襄樊-广济断裂
62	2013. 12. 16	31. 1°	110. 4°	湖北省巴东县	5. 1	Ⅶ	5	—	新华断裂与仙女山断裂

注: 该地震数据主要引自文献 [74 ~ 79] 及中国地震台网

2.2 鄂东北东向断裂系

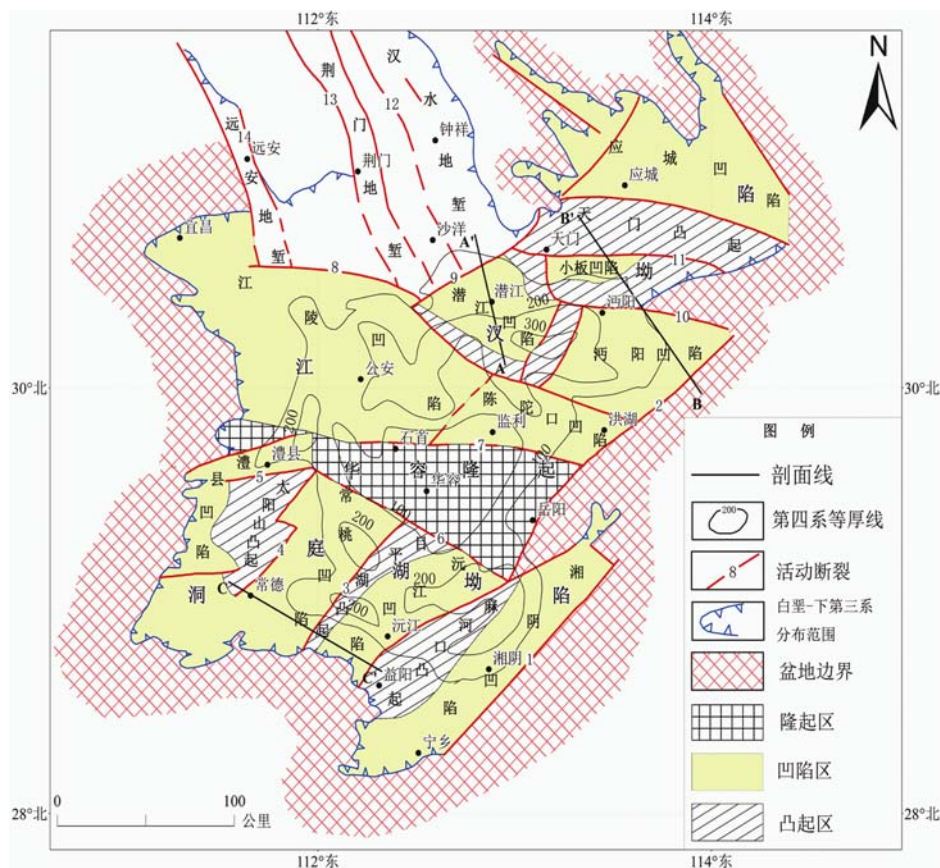
该断裂系呈北北东向展布于江汉盆地以东的地区 (见图 2), 断裂系由郟庐断裂末段和麻城—团风断裂组成。郟庐断裂是中国东部一条活动性强、切割深度大的区域性断裂带, 也是一条强震构造带, 但第四纪以来断裂活动性存在纵向迁移现象, 即: 断裂活动性自北向南减弱, 运动性质由挤压逆冲兼右旋走滑为主向南段转变为右旋走滑兼正向滑动为主^[39~42]。有学者认为其最南段消失于大别山区, 并未南延过长江, 表现为地堑型枢纽断裂带, 活动性较弱, 地震少发^[43]。据历史地震资料记载, 1336 年在安徽宿松、湖北黄梅间发生过 $M4\frac{3}{4}$ 级地震, 其发震断裂为郟庐断裂安徽宿松段, 地震影响到鄂东地区部分城镇, 因此应注意防范其邻区地震对鄂东地区的影响。

麻城—团风断裂亦是一条区域性深断裂, 是大别隆起持续上隆的背景下形成的, 呈北北东向, 以右旋错动为主, 北起鄂边境的松子关, 经麻城、团风、咸宁后进入湖南境内, 全长 270 km^[25], 控制了麻城盆地的发育^[27]。新生代以来表现为继承性的构造活动, 各段活动不均一, 南段较北段活跃^[44]。北段东西两盘在地貌上有明显差异, 东盘河谷呈“V”型, 以 500 ~ 1000 m 低山为主; 西盘以 70 ~ 250 m 的丘陵和垄岗为主, 地形平坦。南段断裂呈沉陷状态, 多堆积了 40 m 厚的上更新统和全新统^[27,44]。根据历史地震资料记载, 沿此断裂曾发生过 5 次 $M\geq4\frac{3}{4}$ 破坏性地震, 最大为 1932 年的 $M6.0$ 级黄土岗地震; 5 次破坏性地震中 3 次发生在与襄樊—广济断裂的交汇处, 因此与襄樊—广济断裂的交汇处是孕育地震的有利场所。

2.3 江汉—洞庭盆地断裂系

该断裂系是“两湖”地区活动性相对较强、规模相对较大的活动断裂系, 分布于江汉—洞庭拗陷盆地内。江汉—洞庭拗陷盆地位于中国东部新华夏系第二沉降带^[13], 属江汉—洞庭裂陷区 (见图 1b), 是白垩纪末、新生代早期形成的裂陷盆地。盆地内第四纪地层沉积较厚, 与周围古老基岩以断层接触, 新生代地貌差异明显。其内部断裂纵横交错, 按其展布方向大致分为北东—北北东、北西—北北西、近东西向 3 组断裂, 它们把盆地基底分割成规模不等的构造块体, 彼此镶嵌组合成断块构造格局, 加之不均匀的差异升降运动, 形成了江

汉坳陷、华容隆起和洞庭湖坳陷3个组成单元^[45] (见图3)。第四纪以来,盆地凹陷区、周缘隆起区发生不同程度抬升并遭受侵蚀,出现丘岗地貌,盆地东缘和西缘产生倾向盆地的构造掀斜,断裂活动性有减弱趋势,对盆地沉积控制作用也明显减弱,盆地演化由裂陷阶段进入坳陷阶段^[46~47]。盆地内部沉积的第四纪河湖相、冲洪积相和边缘山麓相地层,厚度一般为100~200 m,最厚可达300 m^[45] (见图3),但由于断裂活动的影响,断块之间发生差异运动,盆地中心不断迁移,致使第四纪更新世沉降中心迁至潜江、仙桃一带^[48]。



1—崇阳—宁乡断裂; 2—岳阳—武汉断裂; 3—南县—汉寿断裂; 4—太阳山断裂; 5—澧水断裂;
6—北景港断裂; 7—石首—监利断裂; 8—纪山寺断裂; 9—潜北断裂; 10—麻洋潭断裂;
11—天门河断裂; 12—钟祥断裂; 13—南漳—荆门断裂; 14—远安地堑断裂带

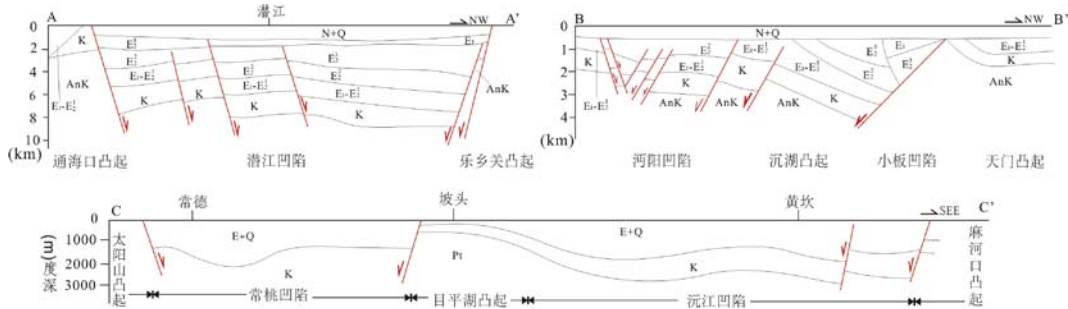
图3 江汉—洞庭盆地构造区划图^[45,51]

Fig. 3 Tectonic zoning map of Jiangnan-Dongting Lake basin

北西—北北西向断裂主要包括: 钟祥断裂 (胡集—沙洋断裂)、南漳—荆门断裂、通城河断裂、仙女山断裂、公安—监利断裂、北景港断裂、常德—益阳—长沙断裂等7条, 其中常德—益阳—长沙断裂和钟祥断裂、南漳—荆门断裂第四纪地貌特征最为突出, 活动性最为明显, 对盆地地区的地震等地质灾害有控制作用。据历史地震资料记载, 远安地堑断裂带作为鄂中地区的主要活动发震构造^[49], 微震、强有感地震活动频繁, 曾发生过2次 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 破坏性地震; 钟祥断裂发生过5次 $M \geq 5.0$ 中强地震, 最大震级为5.5级, 最大烈度Ⅶ度; 常德—益阳—长沙断裂发生过5次 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 地震, 最大震级为5.5级, 震中集中分布于洞庭湖盆地南部边界 (见图2, 表2)。这些地震揭示了该走向断裂带是江汉—洞庭盆地高活动地

区之一。

北东—北北东向断裂主要包括:岳阳—武汉断裂、常德—荆州断裂(太阳山断裂带)、崇阳—宁乡断裂(汨罗—新宁断裂北段)、石首—澧县断裂、南县—汉寿断裂、潜北断裂、岳阳—桃江断裂等7条,主要分布于洞庭湖坳陷和华容隆起地区(见图3)。由于凹陷内堆积的白垩纪和新生代地层一般厚2000~3000 m^[45](见图4),大部分断裂形迹被第四系所覆盖,其断裂切割深度最大超过10 km^[50]。其中,常德—荆州断裂活动最为明显,沿断裂有感地震频发,破坏性地震发生过9次,最大一次为1631年M6.75级常德地震,烈度为Ⅷ⁺。奉行和等^[16]认为该断裂与北西向断裂形成长条形的封锁区,应力易于集中,有孕育中强地震的地质构造条件,再度发生中强震的可能性较大,位置可能仍在常德—澧县间某个部位。



A—潜江凹陷剖面; B—沔阳凹陷—天门凸起剖面; C—洞庭湖坳陷剖面

图4 江汉—洞庭盆地构造剖面示意图(据徐杰^[45]修改)

Fig. 4 Structural sections across Jiangnan-Dongting Lake Basin

近东西向断裂主要包括:纪山寺断裂、天门河断裂、麻洋潭断裂等3条,其活动性较前述两者明显弱,但对沔阳凹陷、江陵凹陷、天门凸起等的演化有控制作用。凹陷中堆积的白垩纪和新生代地层一般厚4000~6000 m,最厚如潜江凹陷达10000 m^[45](见图4),因此断裂多隐伏于新生代地层之下,地震活动性较弱。据历史地震资料记载,江汉坳陷地区曾发生过5次 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 破坏性地震,最大震级为5级,震中分布在沔阳凹陷和潜江凹陷内,小震主要密集分布在潜江—沔阳凹陷带周边,多数地震震源深度集中在地下15 km左右^[47,50]。

综上所述,新生代以来,江汉—洞庭坳陷盆地差异运动强烈,断裂活动较强,地震多集中在凹陷区,凸起区少震,是“两湖”地区的多震区。

2.4 鄂西—湘西北东向断裂系

该断裂系主要分布于鄂西—湘西断块抬升区内(见图1b),断裂多以压剪性或压扭性为主,控制着恩施盆地、黔江盆地、秭归盆地、慈利、张家界盆地等小型白垩纪盆地的发生、发展。新构造时期,活动明显、规模较大的断裂有黔江—恩施断裂带、新华断裂带、慈利—大庸断裂。根据前人^[21,52~54]对该断裂带做的TL(热释光)测年结果,该断裂带最新活动时代大约都在早更新世。断裂带的不均衡运动造成该地区地貌的差异性,黔江—恩施断裂带、慈利—大庸断裂等两盘地貌反差在200~500 m,泉水沿断裂呈线状分布;同时,大部分水系在通过断裂带附近时发生同步弯曲或错断,局部河流错位达150 m左右^[21,27,52]。该断裂带虽在新构造运动期间有明显的活动性,但现今活动极其微弱,复发活动周期较长。从历史地震记录来看,该断裂带曾发生过4次 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 破坏性地震,最大一次是1856年M6.5级咸丰、大路坝地震,发震断裂为恩施—黔江断裂带(见表2)。总的来看,鄂西—湘西北东向

断裂系第四纪活动较弱,沿断裂极少发生地震,地震活动性较低。

2.5 湘中南北东向断裂系

该断裂系位于武陵山—雪峰山断块隆起区内(见图1b),断裂带包括:沅江—乌宿断裂、贵阳—芷江—溆浦断裂(新晃—怀化断裂)、安化—洪江断裂、五团—洞口断裂、新化断裂、邵阳—新宁断裂(崇阳—新宁断裂南段)、湘潭—邵东断裂。断裂多呈北东向展布,并且向西北向凸起呈弧形断裂^[7,10],对该隆起区的盆岭结构、现今地貌地形有一定的控制作用,如:雪峰山主峰大体展布于沅江—乌宿断裂以东,成为沅水和资水的分水岭,表现年青地貌特色;五团—洞口断裂在新构造时期表现为继承性活动,断裂两侧出现强烈的地貌反差,东南侧为天子山,北西侧相对低缓^[7]。从前人的研究成果中可以发现该断裂带早—中更新世活动的标志较为明显,但活动性较弱。沅江断裂、贵阳—芷江—溆浦断裂、湘潭—邵东断裂等在地貌上多表现为十分醒目的断层谷、断层三角面、断层崖等现象;有些断裂两盘地貌高程反差较大,如沅江断裂西北盘和东南盘高差为300 m左右,并形成断裂陡坎和峡谷地形;新化断裂东侧断块山有高达400 m左右的剥夷面,西侧小于300 m的丘陵,并发育3级河流阶地;该断裂带切过较新地层,贵阳—芷江—溆浦断裂切过晚更新世地层、邵阳—新宁断裂直接错断中更新世松散堆积层、发育平直新鲜的滑动面^[21],上述地貌现象都可以说明该断裂第四纪以来有一定的活动性且最新活动时代多在早—中更新世。从地震资料看,该区历史地震记载自1509—1936年间共发生地震25次,其中 $4\frac{3}{4} \leq M \leq 5\frac{1}{2}$ 级地震6次(见表2),震源分布零散(见图2);近代仪器记录 $1.0 \leq M \leq 2.8$ 级地震30次左右,其中20次有感,但大多数属于水库诱发地震,震源深度小于3.8 km。所以沿该断裂系小震活动较为频发,中强震稀少,多以水库诱发地震为主,其震源浅、震级小。

2.6 湘东北东向断裂系

该断裂系位于湘东断陷盆地内,断裂多呈右阶雁列式排列^[7]。本组断裂包括:衡阳—梧州断裂、醴陵断裂、桃水断裂、茶陵—永兴断裂,呈北东向展布,除衡阳—梧州断裂以走滑断裂性质贯穿湘东地区外,其他断裂规模较小,活动性较弱,运动性质一般为高角度正断层。新构造运动期间,主要表现为差异性抬升,在地貌上表现为悬谷、瀑布和“V”形谷的异常发育,沿断裂带温泉呈串珠状展布。断裂活动时代为早—中更新世。衡阳—梧州断裂发生间歇性抬升运动,致使湘江向东迁移;桃水断裂东西两盘出现地貌差异;醴陵断裂带内出现挤压破碎、构造透镜体、揉皱劈理等,这些地质地貌现象皆能说明该断裂带在早—中更新世的活动性^[22]。从地震资料来看,沿该断裂带发生中强震的频次少,震级小,属于“两湖”地区相对最弱的地区。自1509年至今,沿该断裂带发生过4次 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级破坏性地震,震中集中在衡阳—梧州断裂的南段,最大震级为5.0级。另外,该断裂带的活动方式以蠕动形式表现,断裂的应变积累多以温泉的形式释放^[55],发震潜力比较有限,强震危险性极低。

3 地震地质特征

3.1 地震活动与分布特征

“两湖”地区(北纬 $24^{\circ}38'$ — $33^{\circ}16'$,东经 $108^{\circ}21'$ — $116^{\circ}07'$)隶属于长江中下游地震带^[4-5],位于滨太平洋地震域南部弱震区^[6],地震活动性弱,以少震、弱震为主。自公元前143年以来,该区1960年之前有记录的 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级中强地震共56次,其中 $6.0 \geq M \geq 5.0$ 级地震32次, $M \geq 6.0$ 级强震4次,最大一次为1631年 $M 6\frac{3}{4}$ 级常德地震;1960年三峡地震

台网建立以来发生 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震共 6 次 (见表 2), $M \geq 2.0$ 级地震 549 次, 这说明“两湖”地区是小震不断, 中强地震居中, 大震稀少的地震活动区。通过对历史地震资料的梳理, 根据前人研究成果、震中位置、等震线等已有资料, 推测出 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级历史地震的控震断裂 (见表 2), 并对地震在时空上的分布进行研究分析发现, “两湖”地区地震具有较大的不平衡性, 在空间分布上呈现分区性, 在时间分布上呈现间歇性或阶段性^[56], 地震活动水平总体较低。

3.1.1 地震时间分布特征

据历史地震资料记载, “两湖”地区最早地震为公元前 143 年 $M5.0$ 级竹山地震, 从公元前 143 年到公元 1300 年间, 除公元 788 年发生过 $M 6\frac{1}{2}$ 级竹山地震外, 并未发生过 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震。笔者统计了 1300 年以来的地震震级及频次, 获得 700 年来“两湖”地区的地震强度-时间分布图 ($M-T$ 图, 见图 5) 和地震频次图 ($N-T$ 图, 见图 6), 从图中可以看出, 震级大小在时间分布上大体呈正态分布的特点, 即活跃期中 2~3 个较大 ($M \geq 5.0$) 地震发生之前, 会有较小 ($5.0 \geq M \geq 4\frac{3}{4}$) 地震频繁发生, 大地震发生之后较小地震再次频繁发生。该区地震活动性表现为相对平静期和相对活跃期交替出现的特点, 具有一定的活动规律。自 1300 年以来, 可以大致划分出 2 个完整的地震活动周期: 1351—1640 年为第一活动期, 1641—1979 年为第二活动期; 每个活动期持续时间约为 300 a 左右, 其中相对平静期 (1351—1556 年和 1641—1843 年) 占约 200 a, 相对活跃期 (1556—1640 年和 1843—1979 年) 占约 100 a, 相对活跃期地震发生次数在 20~25 次, 相对平静期地震发生次数在 5~7 次 (见表 3)。

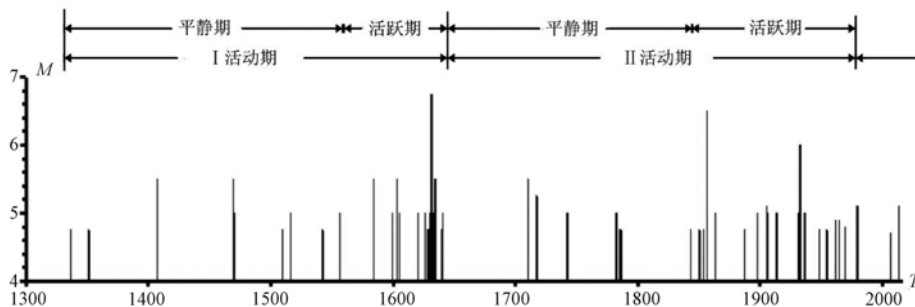


图5 “两湖”地区 1300 年以来 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震强度-时间分布图

Fig. 5 Intensity-time map of earthquakes with $M \geq 4\frac{3}{4}$ in Hunan and Hubei areas since 1300

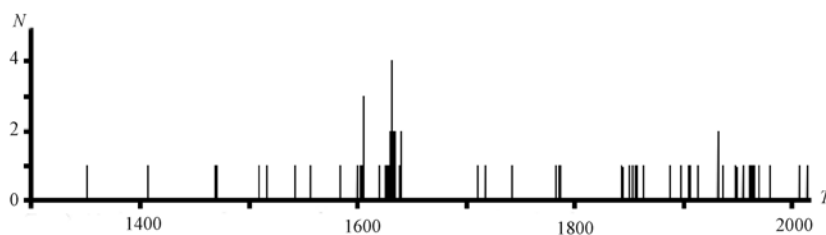


图6 “两湖”地区 1300 年以来 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 地震频次图

Fig. 6 Frequency diagram of earthquakes with $M \geq 4\frac{3}{4}$ in Hunan and Hubei areas since 1300

从 1979 年至今, “两湖”地区进入第三个活动期, 根据前两个活动期的特点, 在进入相对活跃期之前有很长一段时间是处于相对平静期的, 所以, “两湖”地区正处于 1979 年

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	历年	地震次数	最大震级
I (1351—1640)	相对平静期	1351—1556	205	7	5½
	相对活跃期	1556—1640	84	25	6¾
II (1641—1979)	相对平静期	1641—1843	202	6	5½
	相对活跃期	1843—1979	136	20	6¾

以来第三个活动期内的相对平静期的开始,应变处于能量积累阶段,地震活动水平相对较低。

3.1.2 地震空间分布特征

从图2可以看出,“两湖”地区的震中在空间上的分布是不均匀的。震中分布主要集中在以下地区:鄖西—保康—宜都以西的鄂西北、鄂西南地区,麻城—黄冈—阳新以东的鄂东北地区,江汉—洞庭拗陷盆地北部钟祥、荆门、沔阳一带以及盆地南部澧县、常德、益阳一带,地震大致呈北东、北西向条带分布;其他地区震中较为分散或无 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级破坏性地震发生。结合地震时间分布图来看,1556—1640年相对活跃期的地震多发生在鄂东北及江汉—洞庭拗陷盆地北、南边界,而1843—1979年相对活跃期的地震则发生在江汉—洞庭盆地边界、鄂西北及鄂西南地区,由此看来,“两湖”地区的地震活动在空间分布上具有一定的继承性和新生性^[57]。

总体看来,“两湖”地区中强地震多发生在同一部位,即江汉—洞庭湖拗陷盆地边界或北部、鄂西北断陷盆地及鄂东北断裂交汇处。从前人对该地区近代有感地震的研究^[4,17,58,59]中同样可以看出,“两湖”地区有感地震活动及其分布受断裂构造的制约和控制,震中也多集中在江汉—洞庭湖拗陷盆地和西北部的断裂带附近,这与中强震分布范围一致。

3.2 地震烈度区划特征

地震烈度不仅可以用来评定已发生地震对地表和建筑物的破坏程度,也可以表示某地区未来一定时期内在一般场地条件下可能遭受的地震危险性程度^[60]。烈度大小主要根据在一定地点地震对建筑物、地形、地质的破坏程度和人的直觉反映来划分制定^[61]。科学分析和评价一个地区未来可能发生的最大地震的震级、位置、可能影响的范围及其危险性的大小等,最直观的表达方式就是地震烈度区划^[62]。地震烈度区划根据历史、近代和现今地震活动性图像、等震线图形状、烈度衰减规律以及地质构造条件、地球物理场、区域应力场等因素对大区域的地震烈度进行鉴定划分,目的是预测某地区今后一段时期内的地震活动性或该地区可能遭受的最大烈度^[61~62],其划分的主要原则遵循历史地震重复与对比、地震构造类比以及综合分析等方法^[62~63],其结果一般使用地震烈度区划图表示。

当前,我国共编制过3次地震烈度区划图,即1957年我国编制的第一张1:5000000地震烈度区划图、1977年编制的1:3000000地震烈度区划图、1990年编制的1:4000000地震烈度区划图,分别称为第一代、第二代、第三代地震烈度区划图^[61]。目前仍在使用的是第三代地震烈度区划图,采用当前国际上通用的地震危险性分析的综合概率法,结合我国地震活动时空分布不均匀等特点进行编制,其烈度值系指50a期限内,一般场地条件下,可能遭遇超越概率为10%的烈度值,即地震基本烈度。第三代地震烈度区划图对国土利用规划、民用建筑等基础性工程建设具有重要的实际意义,但对重大工程、生命线工程及易于引发严重次生灾害的工程等不能仅简单套用区划图的标准,还需在此基础上进行专门的地震安全性评价和地震动参数的详测分析,做更详细的工程地震研究^[64~65]。

从中国地震烈度图(1990)来看,“两湖”地震烈度区划总体呈北高南低的特点,烈度值只有<Ⅵ度区、Ⅵ度区、Ⅶ度区3类。Ⅶ度区分布于鄂西北的竹溪断陷盆地内和湘北洞庭湖拗陷盆地的东、西边界处,其长轴方向沿竹溪断裂、太阳山断裂及湘阴—岳阳断裂展布,在该区内的县市需要虑地震灾害的威胁,采取一定的防灾、减灾措施。Ⅵ度区则整体沿江汉—洞庭拗陷盆地北西向断裂带、秦昆断裂带西段、东段以及恩施—咸丰断裂带展布,其长轴方向为北东向和北西向,该区内的县市要注意地震问题,在建筑的结构布局方面应给予重视,不必采取特别的抗震措施。“两湖”从鄂中北到湖南约70%的地区为<Ⅵ度区,该区内的县市无需考虑地震带来的灾害问题^[65],但是有学者^[5,66]认为该区尤其是湖南省由于地震震源较浅、建筑物抗震能力较低等因素,所以地震烈度值往往大于经验值,其抗震减灾的程度远远大于预测,因此对该区进行抗震减灾作业时还应视具体条件而定。地震烈度区划表明,“两湖”地区的核电站、铁路、油气管道等重大工程多穿越Ⅵ度区,综合该区地震分布特征推断,地震活动不会对重大工程的建设及使用带来较为严重的影响,其影响程度及防震减灾措施还需对工程地震进行详细的研究分析。

4 讨论

4.1 活动断裂与地震的关系

“两湖”地区活动断裂属于华南断块区的活动断裂和活动盆地。该断块区的活动断裂主要分布于长江中下游和东南沿海断块,桂西滇东断块也有所分布,但活动不甚强烈,至于华南断块区内部的川贵湘赣断块内则无明显的现代差异构造活动。总的来说,华南断块区内构造活动相对较弱,即使在东南沿海断块,北东向断裂的垂直滑动速率亦仅在0.04~2.30 mm/a范围内变化,北西向断裂的左旋滑动速率为1.1~3.2 mm/a,垂直滑动速率为0.4~1.7 mm/a^[67]。

根据前人从区域上对中国活动断裂的划分,“两湖”地区的活动断裂属于中国断块内部多组断裂交换处的局部活动断裂。中国活动断裂绝大部分是在岩石圈断裂或基底断裂这些不同性质的先存断裂的基础上进一步演化发育起来的,它们的基本格局和风格很难脱离老断裂的位置,但常有一些新断裂在性质上与先存断层有很大差别^[68],其地壳变形主要受到来自印度板块的推挤和与欧亚板块的相互碰撞及太平洋板块弧后盆地扩张的影响。由于上述板块作用起始于新生代初,中国晚第四纪活动构造特征与新生代和第四纪构造活动有密切的关系,除少数地区由晚第四纪和现代新生构造带产生外,主要表现为继承性活动。

从“两湖”地区的地震分布来看,活动块体的边界具有较大的活动性,常常是大地震的发生带。活动块体有不同的类型,包括完整的块体和内部仍有一定程度活动的块体,因而在后者内部还可划分出次级块体,块体具有层次性和分级性,在块体内部也会发生中强地震。活动块体的运动反映了地壳或岩石圈块体的整体活动,与区域地震活动相关,因而是划分地震区、地震带,进行区域地震危险性评估的基础^[69]。不同性质的活动断裂具有不同的发震构造模型,研究这些问题对认识强震的发震条件,划分潜在震源区或地震危险区,评估发震构造和发震地点是十分重要的。

4.2 潜在震源区分析

在“两湖”地区进行潜在震源区分析主要是找出未来易发生中强地震($M \geq 4\frac{3}{4}$)的空间位置,为工程抗震设防和城市防震减灾提供参考依据。本文研究侧重于对历史及现今资料的梳理与总结,笔者在遵循前人总结的离逝时间准则、地震空区准则和同一或相邻断裂带上

的强震连锁反应准则^[62,70~71]的基础上,结合活动断裂特征、地震烈度区划等,对“两湖”地区未来容易发生地震的区域进行了定性的分析,初步识别出该地区的5个潜在震源区。

①竹山潜在震源区:位于竹溪断陷盆地内,主要发震断裂为秦昆断裂系西段,包括竹溪断裂、宝丰—房县断裂、青峰断裂,其晚更新世活动性较周围地区明显要强。本区又处于秦岭造山带与扬子板块的分界处,活动性受板块挤压影响,断陷盆地的差异运动活跃,历史较大地震离逝时间长达千年,应变积累量接近中强地震强度。另外,鄂西北地区又是华中地区重要的地震活动带^[72],2008年汶川地震也对该地区产生了一定的影响^[36],据此可以推测本区未来地震活动较为频繁,潜在震级上限小于等于5½级。

②岳阳—湘阴及常德潜在震源区:此2个震源区分别位于江汉—洞庭盆地南部东、西边界。江汉—洞庭盆地内断裂相对发育,断裂活动多发生在中更新世至晚更新世中期,是“两湖”地区地震频发的区域。前人曾对江汉—洞庭盆地的未来地震危险性进行过大量的研究工作,刘锁旺等^[51]认为盆地及周边地区在北北东—南南西(近南北)向的拉张应力和北西西—南东东(近东西)向的挤压应力控制下,断裂多表现为走滑挤压性质,易于构造应变能的积累,预测未来地震危险将潜伏于荆门—钟祥、公安—松滋、荆州—洪湖和澄县—常德等地,震级在5~6级之间,将造成Ⅵ—Ⅷ度的损坏或破坏;李蓉川等^[73]认为该盆地的地震活动性正处于1351年以来低水平的第二个活动期内的相对活跃期,在本活动期结束之前,江汉—洞庭盆地有可能发生5.0~5.5级地震,钟祥、松滋一带是未来地震的危险区;童敏等^[12]、毛际香等^[13]认为湖南历史中强地震的平静期已逼近极限期,在未来1~3年,洞庭湖盆地西侧太阳山附近、澧县至常德一线有发生中强地震的可能性。笔者考虑到江汉—洞庭盆地内部北北东向与北北西向断裂彼此错断,应力易于积累,断裂活动多以粘滑为主,强震离逝时间长,加之受第三隆起带与第二沉降带差异运动的影响等因素,初步认为江汉—洞庭盆地内的潜在震源区位于常德、岳阳—湘阴两地,其潜在震源上限分别小于等于7¼级和5½级。

③鄂西—湘中及鄂东北潜在震源区:鄂西—湘中潜在震源区西到鄂西省界,东以钟祥断裂为界,北到秦岭南坡,南抵江汉—洞庭盆地南边界,范围包括除竹山、常德、岳阳—湘阴5½级危险区外的鄂西北、鄂西南、湘中地区;鄂东北潜在震源区位于鄂东北大别山区附近。此2震源区地震烈度位于Ⅵ度区,跨越了2个不同的大地构造单元,地震活动分别受北北东向、北北西向断裂控制,主要发震断裂分别为襄樊—广济断裂东段、两陨断裂、恩施断裂、远安地堑断裂等,这些断裂规模较大,第四纪以来有过不同程度的活动,在郧西、钟祥、宁乡、恩施、麻城、黄冈等地都曾发生过破坏性地震。鄂东北地震危险区由于靠近安徽霍山Ⅶ度区,所以霍山等地区发生的地震可能会波及到鄂东北地区,甚至会牵动郟庐断裂最南端或者襄樊—广济断裂及次级断裂等发生连锁反应,1917年M6¼级霍山地震就是一例,波及到武汉市为Ⅵ度。因此该区有发生中强震的潜力,潜在震源上限小于等于5¾级。

4.3 地壳稳定性评价

根据前述区域主要活动断裂的特征、地震活动特征的综合分析判断,“两湖”地区的新构造运动较弱,断裂最新活动时代多在中—晚更新世,影响区域稳定的全新世活动断裂极少;地震多以弱震或强有感地震为主,中强震次之,破坏性较弱,烈度多为<Ⅵ度区,因此认为该区总体上属于地壳稳定区。但是由于部分区域在地形地貌、新构造运动特征、历史地震活动等方面存在一定差异,所以根据断裂活动性、新构造特征等将“两湖”地区分为相对稳定区和较不稳定区。相对稳定区指第四纪断裂活动不明显或者不受活动断裂控制,新构

造运动期间地块没发生明显差异升降运动,无历史强震发生,烈度小于Ⅵ度的区域;“两湖”地区大部分区域都属于相对稳定区,包括湘南大部分区域和鄂北等。较不稳定区指第四纪断裂活动明显,地块发生明显的差异升降运动,历史中强震密集,烈度在Ⅵ—Ⅶ度之间的区域;该区主要在江汉—洞庭裂陷区、鄂西北断块隆起区、鄂东北断块掀升区及不同块体的边界地带。结合“两湖”地区重大工程部署图来看,“两湖”地区的核电站、过江通道等重大工程周边活动断裂较为发育,地壳较不稳定,其未来建设和使用会受到潜在影响,所以在建设及使用过程中应加强震害防御工作。

5 结论

“两湖”地区主要活动断裂系(带)有6个,自北向南分别为秦昆北西向断裂系、鄂东北东向断裂系、江汉—洞庭盆地断裂系、鄂西—湘西北东向断裂系、湘中南北东向断裂系、湘东北东向断裂系,第四纪期间活动性存在不同程度的差异,第四纪活动显著且影响程度大的是江汉—洞庭盆地断裂系及秦昆北西向断裂系西段。根据历史和近代地震资料以及中国烈度区划图,得出该区近代地震活动性呈衰减趋势,处于第三活动期中的相对平静期;大部分地区地震烈度值小于Ⅵ度,但是存在5个潜在震源区:竹山潜在震源区、常德潜在震源区、岳阳—湘阴潜在震源区、鄂西—湘中潜在震源区、鄂东北潜在震源区。“两湖”地区地壳活动总体上相对稳定,局部较不稳定,较不稳定区多分布在“两湖”地区的盆山交汇部位、构造块体边界处、断裂转折部位等,如:江汉—洞庭盆地中南部的东、西边界,鄂州—黄冈—武汉一带,鄂西北地区,这些地区都是孕育地震的有利场所,具有发震潜力。上述几点认识不仅为“两湖”地区未来开展地震调查工作奠定了基础,而且也为“十三五”规划重大工程的安全建设与实施提供了参考依据,对长江中游地区的发展建设具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 毛新武,叶琴,廖明芳,等. 湖北省大地构造单元划分与讨论[J]. 资源环境与工程, 2014, 28(增刊): 6~16.
MAO Xin-wu, YE Qin, LIAO Ming-fang, et al. Division of tectonic units and discussed in Hubei province [J]. Resources Environment and Engineering, 2014, 28 (Suppl.): 6~16.
- [2] 谢湘雄. 湖南大地构造单元划分及其地球物理场特征[J]. 湖南地质, 1992, 11(4): 334~342.
XIE Xiang-xiong. On the division of geotectonic units in Hunan province and characteristics of geophysical field [J]. Hunan Geology, 1992, 11(4): 334~342.
- [3] 潘桂堂,肖庆辉,陆松年,等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1~28.
PAN Gui-tang, XIAO Qing-hui, LU Song-nian, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1~28.
- [4] 薛军蓉. 2005年度湖北省地震趋势估计[C]//湖北省灾害防御协会. 2005年湖北省减轻自然灾害白皮书论文集. 2004: 11.
XUE Jun-rong. Earthquake tendency estimation of Hubei Province in 2005 [C]//Disaster Prevention Association of Hubei Province. Paper collection of natural disaster reduction in Hubei Province in 2005. 2004: 11.
- [5] 李颖,胥广银,陈鲲,等. 湖南省中南部地区地震区划研究[J]. 中国地震, 2007, 23(1): 17~24.
LI Ying, XU Guang-yin, CHEN Kun, et al. Study on seismic zonation in middle south Hunan Province [J]. Earthquake Research in China, 2007, 23(1): 17~24.
- [6] 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): 18~32.

- HUANG Ji-qing. An attempt to the seismogeological regionalization of China according to the tectonic point of view [J]. Journal of CAGS, 1979, 1 (1): 18 ~ 32.
- [7] 王春林. 湖南活动性断裂构造初探 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1986, 9 (4): 75 ~ 82.
WANG Chun-lin. Study on active fault structures in Hunan province [J]. Natural Science Journal of Hunan Normal University, 1986, 9 (4): 75 ~ 82.
- [8] 刘昌茂. 鄂东南地区的活动断裂与地震活动 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1991, 25 (4): 106 ~ 111.
LIU Chang-mao. The active faults and earthquakes in southeastern Hubei province [J]. Journal of Central China Normal University: Natural Science, 1991, 25 (4): 106 ~ 111.
- [9] 陈业新. 湖北地震史论 [J]. 华中师范大学学报: 哲学社会科学版, 1996, (1): 75 ~ 79.
CHEN Ye-xin. The history of the Hubei earthquake [J]. Journal of Central China Normal University: Philosophy and Social Science, 1996, (1): 75 ~ 79.
- [10] 张玉岫. 湖南省地震地质构造基本特征 [J]. 华南地震, 1982, 2 (4): 42 ~ 52.
ZHANG Yu-xiu. Basic features of seismic geological structure in Hunan Province [J]. South China Journal of Seismology, 1982, 2 (4): 42 ~ 52.
- [11] 韩竹军, 向宏发, 姬计法. 洞庭盆地南缘常德-益阳-长沙断裂中段活动性研究 [J]. 地震地质, 2011, 33 (4): 839 ~ 854.
HAN Zhu-jun, XIANG Hong-fa, JI ji-fa. Activity of central segment, Changde-Yiyang-Changsha fault at the southern margin of Dongting basin, Hunan, China [J]. Seismology and Geology, 2011, 33 (4): 839 ~ 854.
- [12] 童敏, 童琼, 童迎世. 洞庭湖地区自然地理环境和地震活动关系 [J]. 高原地震, 2012, 24 (2): 23 ~ 29, 41.
TONG Min, TONG Qiong, TONG Ying-shi. The relationship between seismic activity and geographical environment in Dongting Lake [J]. Plateau Earthquake Research, 2012, 24 (2): 23 ~ 29, 41.
- [13] 毛际香, 童敏. 洞庭湖地区的地震活动特征 [J]. 华南地震, 2000, 20 (3): 64 ~ 70.
MAO Ji-xiang, TONG Min. Characteristics of seismicity in Dongting Lake area [J]. South China Journal of Seismology, 2000, 20 (3): 64 ~ 70.
- [14] 丁丹, 董瑞树, 李正芳. 1631 年宁乡地震核查 [J]. 国际地震动, 2012, (6): 45.
DING Dan, DONG Rui-shu, LI Zheng-fang. 1631 Ningxiang earthquake verification [J]. Recent Developments in World Seismology, 2012, (6): 45.
- [15] 王静瑶. 1979 年湖北巴东 5.1 级地震震源机制与地形变 [J]. 地壳形变与地震, 1981, (1): 93 ~ 100.
WANG Jing-yao. Focal mechanism and topographic changes of 5.1 magnitude earthquake in Badong, Hubei, 1979 [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1981, (1): 93 ~ 100.
- [16] 奉行和, 罗胜富, 康岚. 对常德太阳山断裂及其与地震关系的认识 [J]. 湖南地质, 1989, 8 (3): 24 ~ 28.
FENG Xinghe, LUO Sheng-fu, KANG Lan. A Discussion on the content of environmental geology [J]. Hunan Geology, 1989, 8 (3): 24 ~ 28.
- [17] 敬少群, 王佳卫, 高孟潭. 湖南及邻区历史有感地震在地震活动性研究中的应用 [J]. 中国地震, 2009, 25 (1): 87 ~ 93.
JING Shao-qun, WANG Jia-wei, GAO Meng-tan. Historical felt earthquake catalogue and its application in seismic activity research in Hunan Province and its neighborhood [J]. Earthquake Research in China, 2009, 25 (1): 87 ~ 93.
- [18] 巫建华, 郭国林, 刘帅, 等. 大地构造学基础与中国地质学概论 [M]. 北京: 地质出版社, 2013: 204 ~ 225.
WU Jian-hua, GUO Guo-lin, LIU Shuai, et al. Introduction to the foundation and China geology tectonics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 204 ~ 225.
- [19] 李美美. 湖北省地壳运动与主要构造体系 [C] //地质矿产部地质力学研究所. 中国分省构造体系研究文集第 2 辑. 北京: 文物出版社, 1985: 15 ~ 27.
LI Mei-mei. The crustal movements and major tectonic systems of Hubei province [C] //Institute of Geomechanics of Ministry of Geology and Mineral Resources. Paper collection of research on the structural system of China's subprovinces second series. Beijing: Cultural Relics Press, 1985: 15 ~ 27.
- [20] 刘忠伟, 杨舜全. 湖南省构造体系主要特征 [C] //地质矿产部地质力学研究所. 中国分省构造体系研究文集第 2 辑. 北京: 文物出版社, 1985: 29 ~ 47.

- LIU Zhong-wei, YANG Shun-quan. The tectonic systems and their major characteristics in Hunan province [C] //Institute of Geomechanics of Ministry of Geology and Mineral Resources. Paper collection of research on the structural system of China's subprovinces second series. Beijing: Cultural Relics Press, 1985: 29~47.
- [21] 湖南省地震志编辑部. 湖南地震志 [M]. 2013.
- The Record of Hunan Earthquake Compile Committee. The record of Hunan earthquake [M]. 2013.
- [22] 李俊涛, 张毅. 湖北水系演化的地质地貌背景 [J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2007, 21 (3): 267~271.
- LI Jun-tao, ZHANG Yi. Geological-Geomorphological background of the drainage system evolution in Hubei province [J]. Journal of University of Jinan: Science & Technology, 2007, 21 (3): 267~271.
- [23] 黄海军. 浅析湖南活动构造体系及其与地震温泉的关系 [J]. 建材与装饰 (中旬刊), 2007, (8): 414~416.
- HUANG Hai-jun. Analysis on the relationship between the active tectonic system and the earthquake hot spring in Hunan [J]. Building Materials and Decoration (Mid), 2007, (8): 414~416.
- [24] 肖和平, 陈学良, 高孟潭. 湖南省抗倒塌地震区划图预编试验的潜在震源区划分原则 [J]. 震灾防御技术, 2012, (1): 12~25.
- XIAO He-ping, CHEN Xue-liang, GAO Meng-tan. Principles of potential seismic source division on pre-programmed test of anti-collapsed seismic zonation map of Hunan Province [J]. Tology for Earthquake Disaster Prevention, 2012, (1): 12~25.
- [25] 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Hubei Province. The record of regional geology of Hubei province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- [26] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Hunan Province. The record of regional geology of Hunan province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.
- [27] 湖北地震志编纂委员会. 湖北地震志 [M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- The Record of Hubei Earthquake Compile Committee. The record of Hubei earthquake [M]. Beijing: Seismological Press, 1990.
- [28] 吴中海, 周春景. 青海玉树地区活动断裂与地震 [J]. 地质通报, 2014, (4): 419~469.
- WU Zhong-hai, ZHOU Chun-jing. Active faults and earthquake around Yushu in eastern Tibetan Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2014, (4): 419~469.
- [29] 吴中海, 张岳桥, 胡道功. 新构造、活动构造与地震地质 [J]. 地质通报, 2014, (4): 391~402.
- WU Zhong-hai, ZHANG Yue-qiao, HU Dao-gong. Neotectonics, active tectonics and earthquake geology [J]. Geological Bulletin of China, 2014, (4): 391~402.
- [30] 徐锡伟. 活动断层、地震灾害与减灾对策问题 [J]. 震灾防御技术, 2006, (1): 7~14.
- XU Xi-wei. Active faults, associated earthquake disaster distribution and policy for disaster reduction [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2006, (1): 7~14.
- [31] 冯廷著, 刘光勋, 黄佩玉, 等. 中国主要活动断裂及其现代运动 [C] //国家地震局地壳应力研究所. 地壳构造与地壳应力文集. 北京: 地震出版社, 1987: 8~18.
- FENG Ting-zhu, LIU Guang-yun, HUANG Pei-yu, et al. China's major active faults and its modern movement [C] //The Institute of Crustal Dynamics. The paper collection of crustal tectonics and crustal stress. Beijing: Seismological Press, 1987: 8~18.
- [32] 许光炳, 刘可, 付燕玲, 等. 十堰及邻区地震构造环境浅析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2003, (4): 105~110.
- XU Guang-bing, LIU Ke, FU Yan-ling, et al. Analysis seismic tectonic environment in Shiyan area and its vicinity [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2003, (4): 105~110.
- [33] 丁忠孝, 刘锁旺, 许光炳. 房县至安康一线北西 (北西西) 向构造带地震地质特征的初步认识 [J]. 地壳形变与地震, 1982, (4): 107~116.
- DING Zhong-xiao, LIU Suo-wang, XU Guang-bing. Preliminary understanding of the seismic geological characteristics of the NW (NWW) tectonic zone from Fangxian to Ankang [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1982, (4): 107~116.
- [34] 雷东宁, 蔡永建, 吴建超, 等. 青峰断裂带房县段第四纪活动特征分析 [J]. 大地测量与地球动力, 2012,

- (4): 46~50.
- LEI Dong-ning, CAI Yong-jian, WU Jian-chao, et al. Quaternary active characteristics of Fangxian segment of Qingfeng fault zone [J]. Journal of geodesy and geodynamics, 2012, 04: 46~50.
- [35] 陈璘. 襄樊—广济断裂湖北段构造特征研究 [J]. 石油实验地质, 2009, (2): 186~191.
- CHEN Lin. Study of structural characteristics of Xiangfan-Guangji fault in Hubei province [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2009, (2): 186~191.
- [36] 吴海波, 姚运生, 薛军蓉. 汶川地震对湖北地震活动趋势的影响 [J]. 大地测量与地球动力学, 2009, (S1): 59~65.
- WU Hai-bo, YAO Yun-sheng, XU Jun-rong. Effect of Wenchuan earthquake on seismic activity in Hubei [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009, (S1): 59~65.
- [37] 李峰, 李垠, 薛军蓉, 等. 湖北随州 $M_L 4.7$ 地震序列基础资料分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2007, (S1): 56~61, 88.
- LI Feng, LI Gen, XUE Jun-rong, et al. Analysis on basic data of $M_L 4.7$ earthquake sequence in Suizhou, Hubei [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, (S1): 56~61, 88.
- [38] 韩晓光, 许光炳. 房县盆地内部隐伏断裂与鄂西北地区地震活动 [J]. 国际地震动态, 2004, (6): 19~22.
- HAN Xiao-guang, XU Guang-bing. The hidden fault in Fangxian Basin and the earthquake activity in northwest of Hubei [J]. Recent Developments in World Seismology, 2004, (6): 19~22.
- [39] 施伟, 张岳桥, 董树文. 郟庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征 [J]. 地球学报, 2003, (1): 11~18.
- SHI Wei, ZHANG Yue-qiao, DONG Shu-wen. Quaternary activity and segmentation behavior of the middle portion of the Tan-Lu Fault Zone [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, (1): 11~18.
- [40] 龚伟, 曾佐勋, 王杰, 等. 郟庐断裂带江苏段第四纪活动性研究 [J]. 地震研究, 2010, (1): 86~92, 120.
- GONG Wei, ZENG Zuo-xun, WANG Jie, et al. Research on Quaternary activity in Jiangsu sector of the Tanlu fault zone [J]. Journal of Seismological Research, 2010, (1): 86~92, 120.
- [41] 谢瑞征, 丁政, 朱书俊, 等. 郟庐断裂带江苏及邻区第四纪活动特征 [J]. 地震学刊, 1991, (4): 1~7.
- XIE Rui-zheng, DING Zheng, ZHU Shu-jun, et al. Active characteristics in Jiangsu segment of the Tanlu fault zone and its vicinity [J]. Journal of Seismology, 1991, (4): 1~7.
- [42] 郑颖平, 翟洪涛, 李光, 等. 郟庐断裂带江苏新沂—安徽宿松段地震危险性分析 [J]. 华北地震科学, 2012, (2): 48~51.
- ZHENG Ying-ping, ZHAI Hong-tao, LI Guang, et al. Seismic risk analysis on Xinyi-Susong fault segment of the Tanlu fault zone [J]. North China Earthquake Sciences, 2012, (2): 48~51.
- [43] 汤加富, 李怀坤, 娄清. 郟庐断裂南段研究进展与断裂性质讨论 [J]. 地质通报, 2003, (6): 426~436.
- TANG Jia-fu, LI Huai-kun, LOU Qing. Progress in the study of the southern segment of the Tanlu fault and a discussion of the nature of the fault [J]. Geological Bulletin of China, 2003, (6): 426~436.
- [44] 古成志. 1932年湖北麻城黄土岗6级地震与麻城—团凤断裂带的新活动 [J]. 地壳形变与地震, 1981, (2): 83~90.
- GU Cheng-zhi. 1932 Macheng Hubei $M_s 6$ earthquake and the new activities of the Macheng-Tuanfeng fault zone [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1981, (2): 83~90.
- [45] 徐杰, 邓起东, 张玉岫, 等. 江汉—洞庭盆地构造特征和地震活动的初步分析 [J]. 地震地质, 1991, (4): 332~342.
- XU Jie, DENG Qi-dong, ZHANG Yu-xiu, et al. Structural features and seismicity in Jiangnan-Dongting Lake basin [J]. Seismology and Geology, 1991, (4): 332~342.
- [46] 柏道远, 王先辉, 李长安, 等. 洞庭盆地第四纪构造演化特征 [J]. 地质论评, 2011, (2): 261~276.
- BAI Dao-yuan, WANG Xian-hui, LI Chang-an, et al. Characteristics of Quaternary tectonic evolution in Dongting Basin [J]. Geological Review, 2011, (2): 261~276.
- [47] 杨攀新, 高战武, 张俊. 江汉盆地构造模式和演化及其与中强地震关系研究 [J]. 地震, 2009, (4): 123~130.
- YANG Pan-xin, GAO Zhan-wu, ZHANG Jun. Structure model and evolution of the Jiangnan Basin and relation with

- moderate to strong earthquakes [J]. Earthquake, 2009, (4): 123 ~ 130.
- [48] 张德厚. 江汉盆地新构造与第四纪环境变迁 [J]. 地壳形变与地震, 1994, (1): 74 ~ 80.
ZHANG De-hou. Neotectonics and Quaternary environmental changes in Jianghan basin [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1994, (1): 74 ~ 80.
- [49] 李安然, 徐永键, 古成志. 鄂中远安断裂带的新构造活动与地震 [J]. 地壳形变与地震, 1982, (2): 98 ~ 103.
LI An-ran, XU Yong-jian, GU Cheng-zhi. The neotectonic activity and earthquake of Yuanan fault zone in middle of Hubei province [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1982, (2): 98 ~ 103.
- [50] 刘锁旺, 甘家思, 李蓉川, 等. 江汉洞庭盆地的非对称扩张与潜在地震危险性 [J]. 地壳形变与地震, 1994, (2): 56 ~ 66.
LIU Suo-wang, GAN Jia-si, LI Rong-chuan, et al. Asymmetric extension and hidden earthquake risk in Jianghan-Dongting basin [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1994, (2): 56 ~ 66.
- [51] 姚秋昌, 楼基胜. 洞庭盆地沅江凹陷油气成藏条件分析 [J]. 天然气工业, 2008, (9): 37 ~ 40, 133 ~ 134.
YAO Qiu-chang, LOU Ji-sheng. An analysis of hydrocarbon pooling conditions in Yuanjiang SAG, the Dongting basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, (9): 37 ~ 40, 133 ~ 134.
- [52] 汪华斌, 吴树仁, 吕峰峰, 等. 湖北西部恩施断裂活动性评价 [J]. 地震地质, 1998, (3): 22 ~ 27.
WANG Hu-bin, WU Shu-ren, LÜ Yi-feng, et al. The engineering evaluation of the Enshi fault activity in western Hubei province [J]. Seismology and Geology, 1998, (3): 22 ~ 27.
- [53] 夏金梧, 周乐群, 刘世凯. 鄂西秭归盆地及外缘主要断裂特征及活动性研究 [J]. 水文地质工程地质, 1996, (1): 10 ~ 14.
XIA Jing-wu, ZHOU Le-qun, LIU Shi-kai. Study on characteristics and activities of the main active in the edge of Zigui basin of the west of Hubei [J]. Hydro Geological Engineering Geology, 1996, (1): 10 ~ 14.
- [54] 蔡永建, 雷东宁, 李恒, 等. 恩施断裂中段第四纪活动特征与位移速率 [J]. 大地测量与地球动力学, 2011, (1): 39 ~ 43.
CAI Yong-jian, LEI Dong-ning, LI Heng, et al. Activity feature and slip rate of middle segment of Enshi fault in quaternary [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, (1): 39 ~ 43.
- [55] 王春林. 华南地区温泉地震和活动性断裂关系的研究 [J]. 华南地震, 1982, (4): 9 ~ 16, 103.
WANG Chun-lin. The study about the relationship between hot springs, earthquake and active faults in south China [J]. South China Seismological Journal, 1982, (4): 9 ~ 16, 103.
- [56] 陆远忠. 地震预报的地震学方法 [M]. 北京: 地震出版社, 1985: 48 ~ 86.
LU Yuan-zhong. The seismology method of earthquake prediction [M]. Beijing: Seismological Press, 1985: 48 ~ 86.
- [57] 覃子建, 罗远模, 王继安. 贵州地震活动图像及烈度区划 [J]. 贵州地质, 1994, (4): 334 ~ 347.
TAN Zi-jian, LUO Yuan-mo, WANG Ji-an. Seismicity image and seismic intensity zonation of Guizhou province [J]. Guizhou Geology, 1994, (4): 334 ~ 347.
- [58] 李普丽. 湖北地区现代有感地震活动图象 [J]. 华南地震, 1987, (1): 89 ~ 93.
LI Pu-li. Active graph of modern sensible earthquake in Hubei area [J]. South China Seismological Journal, 1987, (1): 89 ~ 93.
- [59] 王国英. 湖南省现今有感地震活动特征 [J]. 华南地震, 1991, (1): 57 ~ 61.
WANG Guo-ying. The characteristics of present sensible seismicity in Hunan province [J]. South China Seismological Journal, 1991, (1): 57 ~ 61.
- [60] 黄培华, 金凤英, 丁宝田, 等. 地震地质学基础 [M]. 北京: 地震出版社, 1982: 176 ~ 181.
HUANG Pei-hua, JIN Feng-ying, DING Bao-tian, et al. Seismic geology basis [M]. Beijing: Seismological Press, 1982: 176 ~ 181.
- [61] 覃子建, 罗远模, 王继安. 贵州的地震及最新的地震烈度区划 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 1995, (3): 59 ~ 72.
TAN Zi-jian, LUO Yuan-mo, WANG Ji-an. The earthquake and the latest divisions of seismic intensity in Guizhou province [J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Science, 1995, (3): 59 ~ 72.
- [62] 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, (Z1): 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, (Z1): 191~217.
- [63] 国家地震局. 中国地震烈度区划图(1990)概论[M]. 北京:地震出版社, 1996.
- China Earthquake Administration. An introduction to Seismic Intensity Zoning Map of China (1990) [M]. Beijing: Seismological Press, 1996.
- [64] 关于发布《中国地震烈度区划图(1990)》和《中国地震烈度区划图(1990)使用规定》的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 1992, 15: 516~517.
- The inform about release 《Seismic Intensity Zoning Map of China (1990)》 and 《The use rules about Seismic Intensity Zoning Map of China (1990)》 [J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 1992, 15: 516~517.
- [65] 中国地震烈度区划图编委会. 中国地震烈度区划图(1990)及其说明[J]. 中国地震, 1992, (4): 3~13.
- The Compiling Committee of Seismic Zoning Map in China. Seismic Intensity Zoning Map of China (1990) and its Explanations [J]. Earthquake Research in China, 1992, (4): 3~13.
- [66] 肖和平, 敬少群, 胡奉湘. 湖南省地震烈度特征浅析[J]. 国际地震动态, 2005, (3): 13~18.
- XIAO He-ping, JING Shao-qun, HU Feng-xiang. Preliminary studies on the characteristics of seismic intensity of Hunan province China [J]. Recent Developments in World Seismology, 2005, (3): 13~18.
- [67] 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, (12): 1020~1030, 1057.
- DENG Qi-dong, ZHANG Pei-zhen, RAN Yong-kang, et al. The basic features of the active tectonics in China [J]. Science in China Series D: Earth Science, 2002, (12): 1020~1030, 1057.
- [68] 高维明, 陈兆恩, 任利生. 中国活动断裂的基本特征[J]. 地震, 1993, (1): 1~4, 20.
- GAO Wei-ming, CHEN Zhao-en, REN Li-sheng. The basic features of the active faults in China [J]. Earthquake, 1993, (1): 1~4, 20.
- [69] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造与地震活动[J]. 地学前缘, 2003, (S1): 66~73.
- DENG Qi-dong, ZHANG Pei-zhen, RAN Yong-kang, et al. Active tectonics and earthquake activities in China [J]. Earth Science Frontiers, 2003, (S1): 66~73.
- [70] Reid H F. The mechanics of the earthquake, v. 2 of the California earthquake of April 18, 1906 [R]. Report of the State Earthquake Investigation Commission. Carnegie institution of Washington Publication, 1910.
- [71] 张永庆, 谢富仁. 活动断裂地震危险性的研究现状和展望[J]. 震灾防御技术, 2007, (1): 64~74.
- ZHANG Yong-qing, XIE Fu-ren. Progress and prospect on the seismic hazard assessment of active faults [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2007, (1): 64~74.
- [72] 陈蜀俊, 刘锁旺, 姚运生, 等. 两郧断裂构造解析与第四纪滑动速率研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, (3): 60~66.
- CHEN Shu-jun, LIU Suo-wang, YAO Yun-sheng, et al. Research on structural analysis and quaternary slip rate of Liangyun fault [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, (3): 60~66.
- [73] 李蓉川, 吴兴国. 江汉—洞庭盆地地震活动性研究[J]. 地震研究, 1992, (3): 255~262.
- LI Rong-chuan, WU Xing-guo. Study of earthquake activities in Jianghan-Dongting basin [J]. Journal of Seismological Research, 1992, (3): 255~262.
- [74] 中央地震工作小组办公室. 中国地震目录(第一、二册合订)[M]. 北京:科学出版社, 1971.
- The Central Earthquake Working Group Office. The catalogue of Chinese earthquakes (The first and second volumes) [M]. Beijing: Science Press, 1971.
- [75] 中央地震工作小组办公室. 中国地震目录(第三、四册合订)[M]. 北京:科学出版社, 1971.
- The Central Earthquake Working Ggroup Office. The catalogue of Chinese earthquakes (The third and fourth volumes) [M]. Beijing: Science Press, 1971.
- [76] 顾功叙. 中国地震目录(公元1970—1979年)[M]. 北京:地震出版社, 1984.
- GU Gong-xu. The catalogue of Chinese earthquakes (A. D. 1970—1979) [M]. Beijing: Seismological Press, 1984.

- [77] 顾功叙. 中国地震目录(公元前1831—1969年)[M]. 北京:地震出版社,1984.
GU Gong-xu. The catalogue of Chinese earthquakes (B. C. 1831—1969) [M]. Beijing: Seismological Press, 1984.
- [78] 熊继平. 湖北地震史料汇考[M]. 北京:地震出版社,1986.
XIONG Ji-ping. The collection of historical earthquake data of Hubei [M]. Beijing: Seismological Press, 1986.
- [79] 湖南省地震局. 湖南地震史[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2013.
Earthquake Administration of Hunan province. The history of earthquake in Hunan [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 2013.
- [80] 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, (1): 24~33.
ZHENG Yue-jun, ZHANG Shi-min, CUI Xiao-feng, et al. Focal mechanism analysis for determination of potential source zonation South China [J]. Earthquake Research in China, 2006, (1): 24~33.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MAIN ACTIVE FAULTS AND EARTHQUAKES IN HUNAN AND HUBEI AREAS, THE MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER

LI Hao-min^{1,2}, WU Zhong-hai^{2,3}, WANG Hao-nan^{1,2}, WANG Guo-sheng¹

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

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

3. Neotectonics and Geological hazard Laboratory, Ministry of land and Resources of China, Beijing 100081, China)

Abstract: In this paper, the predecessors' achievements were collected and combined with the historical and modern seismic data in Hunan and Hubei areas. The major active faults and historical earthquakes in the areas, characteristics of the main active earthquake-controlled fault system (belt), seismic activity and spatial and temporal distribution were summarized. Research results indicate that the trends of major active faults in this region are mainly of NE, NNE and NW. There are 6 main active fault systems from north to south, including NW trending Qinkun fault system, NE trending fault system in the east of Hubei, Jiangnan-Dongting basin fault system, NE trending fault system from west Hubei to west Hunan, NE trending fault system in central and south Hunan, and NEE trending fault system in east of Hunan. Quaternary activities of Jiangnan-Dongting basin fault system and NW trending Qinkun fault system are more significant. Seismic activity level in the "Two Lakes" area is relatively low, being in the relatively calm period of the third activity period. Combining modern medium-strong earthquakes data with characteristics of China's seismic intensity zoning, we believed that crust is unstable in the east and west boundaries of the south of Jiangnan-Dongting basin, the Ezhou-Huanggang-Wuhan area and fault block uplift area in northwestern Hubei, with higher potential earthquake risk, which should be paid more attentions in the planning and construction of the urban agglomeration, protecting river embankment design and construction of major projects.

Key words: middle reaches of Yangtze River; Hunan and Hubei region; neotectonics; active fault; seismic activity; evaluation of crustal stability