

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¹

肖和平¹⁾ 陈学良²⁾ 高孟潭²⁾

1) 湖南省地震局, 长沙 410004

2) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

摘要 基于“地震区划概率水准确定与地震区划图预编试验研究”的成果, 本文广泛收集了湖南省境内核电工程的安全性评价报告等有关资料, 从地震活动性、地震构造、地球物理场及地震地质野外考察等室内、外分析工作的层面上, 得出了湖南地区潜在震源区划分的原则和依据, 并对7种划分的方案进行了对比, 最后提出了湖南省抗倒塌地震区划预编原则。这一结果对相类似的中国大陆东部地区地震区划工作具有一定的指导意义。

关键词: 湖南 抗倒塌 地震区划 潜在震源区

引言

第三代区划图和第四代区划图的编制工作均采用考虑时空非均匀性的地震危险性分析方法 CPSHA (高孟潭, 2006; 时振梁等, 2001; 高孟潭, 2003)。该方法是在 Cornell (1968) 提出的方法的基础上发展起来的, 其基本技术思路是考虑潜在震源区的二级划分, 即在地震带划分的基础上划分潜在震源区, 并在地震带内统计地震年平均发生率和 b 值, 通过地震空间分布函数, 将各震级档的年平均发生率分配到各个潜在震源区 (高孟潭, 1988; 时振梁等, 1991; 胡聿贤等, 2006)。根据随机场方法统计检验, 采用 CPSHA 得到全国范围地震区划结果在统计上是可靠的 (高孟潭等, 1993), 但是不排除在具体地区由于资料 and 具体处理方法的局限, 区划结果需要不断改进和更新 (Frankel A., 1995)。

CPSHA 方法的核心技术是划分潜在震源区和确定相应的地震活动性参数。近年来一些中强地震活动地区发生的地震表明, 潜在震源区划分及地震活动性确定方法确实需要不断改进 (高孟潭等, 2008; 李颖等, 2007), 地震区划图在一些中强地震活动地区的结果也存在明显不合理的地方。

湖南省现今的地震活动性较弱, 历史上也只发生过 21 次 $4\frac{3}{4}$ 级以上地震。

因此, 本文开展了第四纪活动断裂野外考察研究, 弥补了地震样本较少的缺陷。在划分

1 基金项目 科技部科技支撑项目 2006BA13B01 “强震危险区划关键技术研究”; 自然科学基金 (50808162; 90915012)

[收稿日期] 2011-11-15

[作者简介] 肖和平, 男, 生于 1952 年。湖南省地震局高级工程师。主要从事防震减灾研究。E-mail: 381751240@qq.com

通讯作者 陈学良, 男, 生于 1976 年。副研, 硕士。主要从事工程地震研究。E-mail: cxl@cea-igp.ac.cn

不同“试验潜源”时广泛收集了前人的研究成果，特别是在收集了湖南省境内核电工程地震安全性评价报告的基础上，开展了地震活动性、地震构造、地球物理场及地震地质野外考察等室内、外分析工作，并对湖南地区的潜在震源区 7 种划分的方案进行了对比，得出了划分原则和依据。

1 湖南省地震构造与地震活动性

湖南及邻区横跨扬子地台和华南褶皱系 2 个大地构造单元，可进一步划分为 6 个二级构造单元，即华南褶皱系的湘桂、赣粤褶皱带；扬子地台的江南台隆、江汉-洞庭拗陷和上扬子台褶带、下扬子台褶带（图 1）。

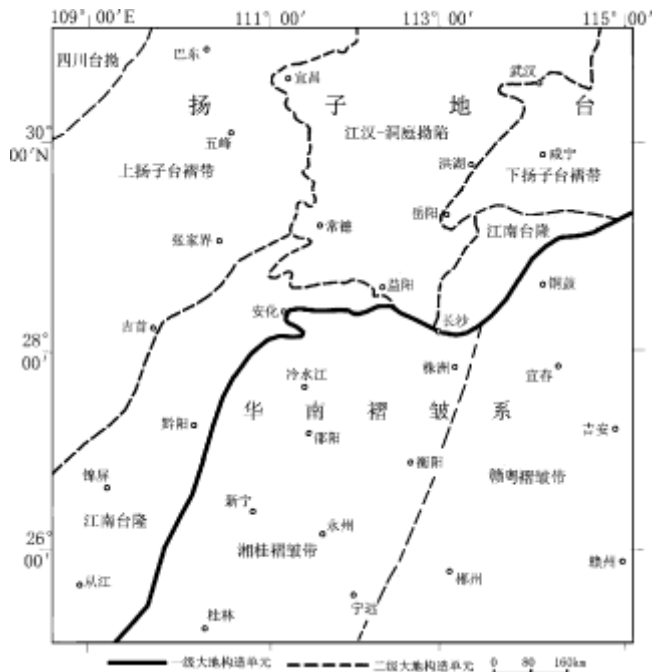


图 1 湖南地区的大地构造单元图

Fig. 1 Map of tectonic units of the study region

1.1 活动盆地

湖南境内有沅陵—麻阳拗陷、洞庭湖拗陷、长寿街—平江断陷、湘乡拗陷、衡阳拗陷、醴陵—攸县断陷、茶陵—永兴断陷等盆地。这些构造均在断陷区与隆起区的边界上，断块差异运动和构造地貌反差强烈地区，地震活动频度、强度亦较大。总体上看，缓慢上升区和断块差异运动不明显的地区，地震活动的频度和强度皆低。第四纪活动的洞庭湖断陷盆地的南西缘及西缘的中强地震强度、频度都较强。现代小震在常德—石门一带较为密集。

湖南中强地震活动与断块隆起和断陷盆地的交接部位有关。在白垩—古近纪盆地构造的边缘上，历史曾有中强地震活动，如长沙—平江、新化等盆地。在沅麻、衡阳、长沙—平江及洞庭湖等盆地的边缘、盆地内中更新世活动的断裂带在历史上均发生过有感地震（ $M \geq 3.0$ 级）。这些盆地边缘和内部第四纪活动断裂上，现代均有小震发生。据向宏发等（2008）的研

究, 中强地震的发生均与第四纪断陷盆地发育和分布有关。

1.2 第四纪活动断裂

第四纪活动的断裂主要以北东向为主, 其次为北北东和北西向。湖南省境内第四纪活动断裂有 14 条 (图 2、表 1), 即澧县-石首断裂带、慈利-张家界断裂带、沅江断裂带、新晃-怀化断裂带、溆浦-洪江断裂带 (溆浦-低庄段、岳溪-安化段)、太阳山断裂带、新化断裂带 (老王冲-梅城段、罗家冲-新化段、新化-城步段)、邵阳-新宁断裂带 (崇阳-望城段、望城-新宁段)、湘潭-邵东断裂带、岳阳-湘阴断裂带 (北段、中段、南段)、浏阳-衡阳-永州断裂带、茶陵-临武断裂带、常德-益阳-长沙断裂带 (北西段、中段、南东段)、郴州断裂带。这些断裂活动时代为早更新世、早—中更新世、中更新世、中更新世晚期和中更新世—晚更新世等。

其中衡阳-永州断裂先后在江西九江、靖安、铜鼓; 湖南道县、双牌、江华; 广西昭平等地引发破坏性地震, 并存在断错中更新世地层 (中更新统) 的现象。湘潭-邵东断裂和常德-益阳-长沙断裂带不但具有中更新世活动表述, 并沿带存在中强地震的活动。因此, 考虑上述因素及不确定因素, 特别是那些断裂在地貌表现清楚, 断错相应时代地层 (中更新统) 的现象, 综合社会和经济发展的需求等因素, 判定上述断裂与地震潜在震源有一定的相关性 (肖和平等, 2009; 2010)。

表 1 湖南省第四纪断层 (段) 参数一览表

Table 1 Parameters of the Quaternary faults (section) in Hunan Province

单位: 度

序号	断层或段落名称	产 状			历史地震年代	活动时代 (a)
		走向 (°)	倾向 (°)	倾向 (°)		
1	澧县-石首断裂带	80—85	SSE 或 NNW	65—75		中更新世
2	慈利-张家界断裂带	40—65	N W	45—75		中更新世晚期
3	沅江断裂带	30—45	SE	65—80	1631 年 5 级地震	中更新世
4	新晃-怀化断裂带	NEE				早—中更新世
5	溆浦-洪江断裂带溆浦-低庄段	40	NW	50—80		早—中更新世
	溆浦-洪江断裂带岳溪-安化段	50	NW	50—80		早—中更新世
6	太阳山断裂带	5—30	NW	80	1631 年 $6\frac{3}{4}$ 级及 3 次 $4\frac{3}{4}$ — $5\frac{3}{4}$ 级地震	中更新世至晚更新世
7	新化断裂带老王冲-梅城段	20—40	SE	70		早更新世
	新化断裂带罗家冲-新化段	20—40	NW	70	1710 年 $5\frac{1}{2}$ 级地震	早—中更新世
	新化断裂带新化-城步段	20	SE	70	1632 年 $4\frac{3}{4}$ 级地震	早更新世
8	邵阳-新宁断裂带崇阳-望城段	45	NW	45	1631 年 $5\frac{1}{2}$ 级地震	早更新世
	邵阳-新宁断裂带望城-新宁段	45	NW	45	现今小震频繁	早—中更新世
9	湘潭-邵东断裂带	55	NW	55	1931 年 $4\frac{3}{4}$ 级地震	早—中更新世
10	岳阳-湘阴断裂带北段	10—40	NWW	40—70	1556 年 $5\frac{3}{4}$ 级地震。	中更新世
	岳阳-湘阴断裂带中段	10—40	NWW	40—70		早—中更新世
	岳阳-湘阴断裂带南段	10—40	NWW	40—70		中更新世

续表

序号	断层或段落名称	产 状			历史地震年代	活动时代 (a)
		走向 (°)	倾向 (°)	倾向 (°)		
11	浏阳-衡阳-永州断裂带	30-40	NW	40-60	1782 年 5.0 级地震	早一中更新世
12	茶陵-临武断裂带	30	SE		1640 年 4 ³ / ₄ 级地震	早一中更新世
13	常德-益阳-长沙断裂带北西段	320-290	NE	50		中更新世
	常德-益阳-长沙断裂带中段	320-290	NE	50		早一中更新世
	常德-益阳-长沙断裂带南东段	320-290	NE	50		中更新世
14	郴州断裂带	320	NE			早一中更新世

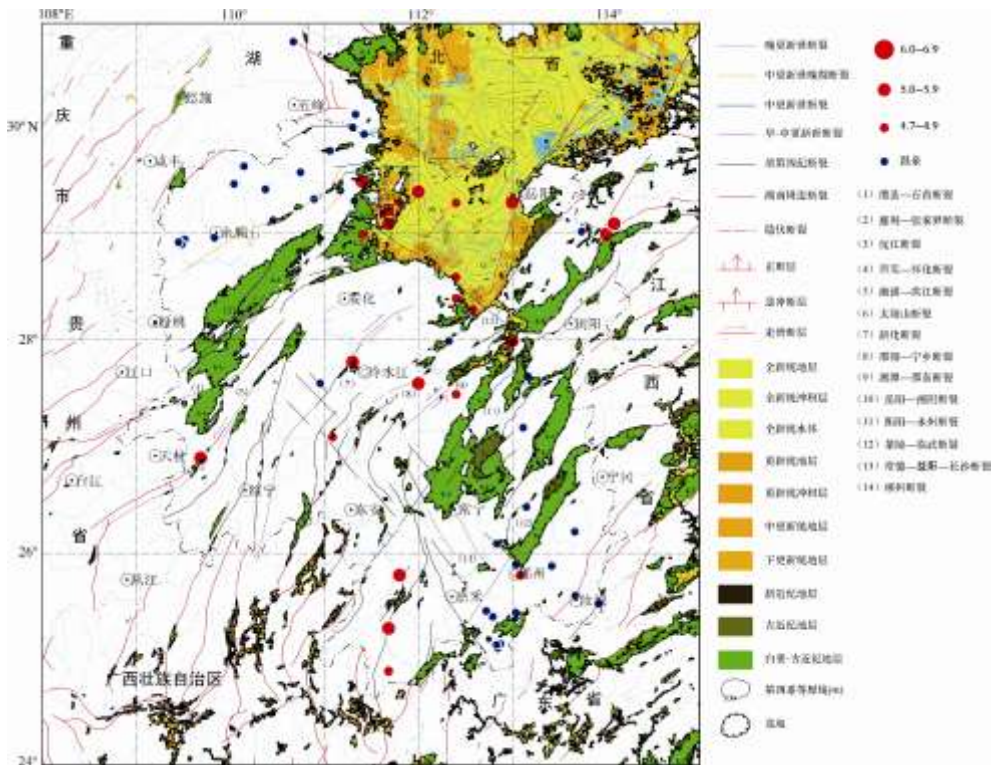


图 2 湖南省地震构造图

Fig. 2 Seismo-tectonic map of Hunan Province

1.3 新构造特征

湖南省新构造活动以垂直差异活动为主。由于间歇性不均衡升降、拗陷和掀斜运动使山地遭受侵蚀，形成多级剥夷面，河流两岸阶地。

根据湖南境内河流阶地和夷平面的相对平均时代，即第四纪晚更新世(Q_3)平均距今 12.05 万年；第四纪中更新世(Q_2)平均距今 45.35 万年；第四纪下更新世(Q_1)平均距今 129.35 万年；新近纪上新世(N_2)平均距今 356.9 万年；新近纪下新世(N_1)平均距今 368.1 万年。

根据河流阶地计算出的参考抬升速率为：第四纪晚更新世(Q_3)=0.19mm/a；第四纪中

更新世 (Q_2) = 0.04mm/a。此外, 根据第四纪中更新世 (Q_2) 抬升的相对高差计算的参考平均速率为 $Q_2=0.83\text{mm/a}$ 。

根据夷平面计算出的参考抬升速率为: 第四纪下更新世 (Q_1) = 0.17mm/a; 新近纪上新世 (N_2) = 0.10mm/a; 新近纪下新世 (N_1) = 0.08mm/a。

在长江及其湘、资、沅、澧等主要支流河谷中, 阶地相当发育。湖南北部主要河流阶地发育的总趋势是比较稳定且较一致, 阶地越老, 相对高程越大; 不同地区同级阶地的分布高程存在一定的差异, 似乎有从西北 (澧水) 向东南 (湘江) 阶地分布高程逐渐降低的趋势。

1.4 地震活动与新构造特征

湖南省地震活动的标志可归纳为: 地震发生在新构造一、二级构造单元分区的边界断裂带, 这些分区边界与不同级别的断块隆起或凹陷交切或汇聚的地段; 在断块差异运动和构造地貌反差强烈地区, 地震活动频度、强度亦较大; 有两组或多组第四纪活动断裂交汇区, 或与背景弧形、环状等构造交汇或汇而不交形成的闭锁区; 区域性北北东向第四纪活动断裂或北西西向第四纪活动断裂成组出现, 同向排列相间组合的断块结构, 第四纪活动断裂收敛、拐折或与其它方向第四纪活动断裂相交的结点处; 第四纪活动的断陷盆地、断陷谷, 特别是断块隆起与断陷盆地的交接部位。

2 湖南省地球物理场

地震是活动断裂激烈运动的结果, 然而, 活动断裂与深部构造之间具有密切的内在联系。湖南省内几条主要第四纪活动断裂与重力、地磁异常有以下相关性 (图 3、图 4):

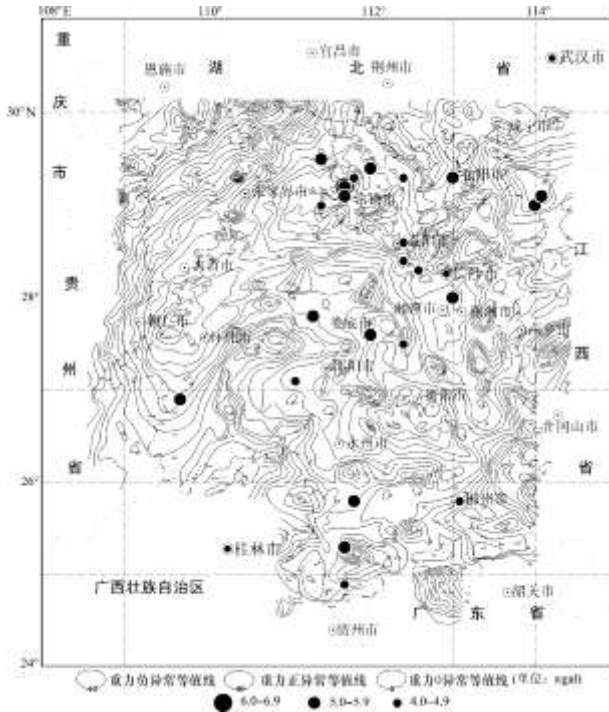


图 3 湖南省地区重力异常图

Fig. 3 Regional gravity anomaly map of Hunan Province

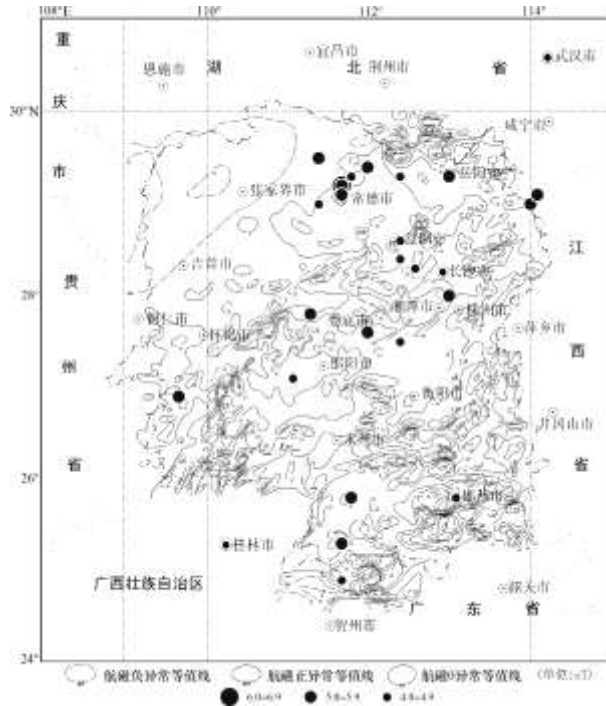


图 4 湖南省地区航磁异常图

Fig. 4 Regional aeromagnetic anomaly map of Hunan Province

花垣-慈利断裂表现为重力梯度带，均衡异常图表现出弱梯度带，在磁场上断裂带反映不明显；汨罗-宁乡-新宁断裂带表现为重力梯度带和等值同向扭曲，在布格重力异常图上的反映为等值线同向扭曲；祁东-衡山-株洲断裂带表现为重力局部异常呈“串珠”状展布；桃江-新化-城步断裂表现为西侧壳内低速层出现在 19—22km，而东侧壳内低速层在 11—15km。沿断裂带为重力低。在大陆磁卫星 ΔT 异常图反映出断裂带北西侧为 2—4nT 的北东向区域正异常，南东侧为 0—4nT 的区域异常；常德-益阳-长沙断裂带表现为一条重力梯度带，沿带分布一系列“串珠”状重力低值区。

综上所述，区域内地球物理场与深部构造之间有一定的内在联系。总体来说，地壳起伏较为平稳，地壳厚度变化不大，地震活动呈低水平；布格重力场梯度较大的常德太阳山是湖南省历史地震和近代小震多发区；地壳等厚线（图 5）显示湖南省境

内的莫霍界面一般都在 15—30km，地震基本上都发生在莫霍界面以上的地壳内；地下热泉的分布与地质构造和地震有一定联系，三者趋势和位置上往往是一致的。湖南省地下热泉的分布与地震活动存在明显的相关性，湘西北、湘东南、湘中和湘东是地下热泉集中点和密集区。

3 潜在震源区划分的原则和依据

潜在震源区划分主要依据特定地段的地质、地震和地球物理场等，根据不同震级档地震发生条件来综合判别。

湖南区域内地震活动主要以中强地震为主，第四纪以来的构造活动总体上较弱，因此中

强地震潜在震源区的划分十分重要。在具体划分中遵循以下原则：

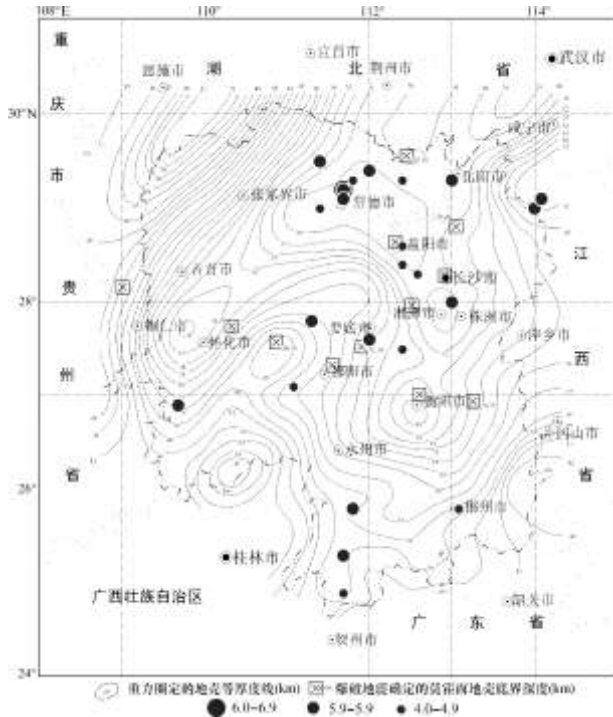


图5 湖南省地区地壳等厚线图

Fig. 5 Crustal thickness isopach map of Hunan Province

潜在震源区划分主要以《中国地震动参数区划图（2001）》中潜在震源区综合划分方案为基础，参考通过审查的相关地震安全性评价报告中的划分结果，根据新资料与认识对一些潜在震源区做适当的修改。

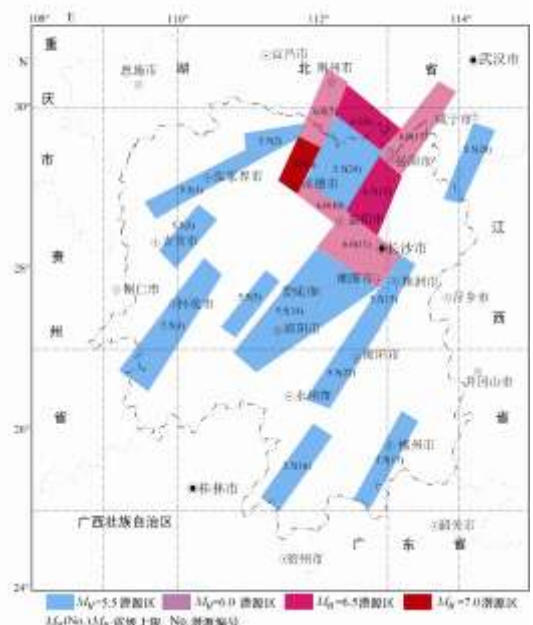
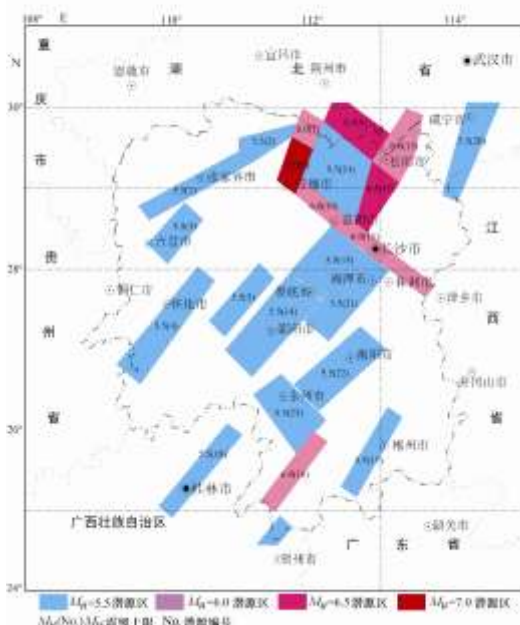
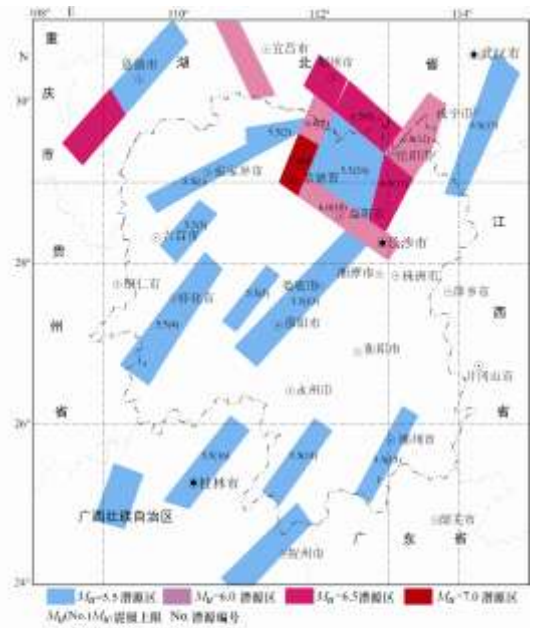
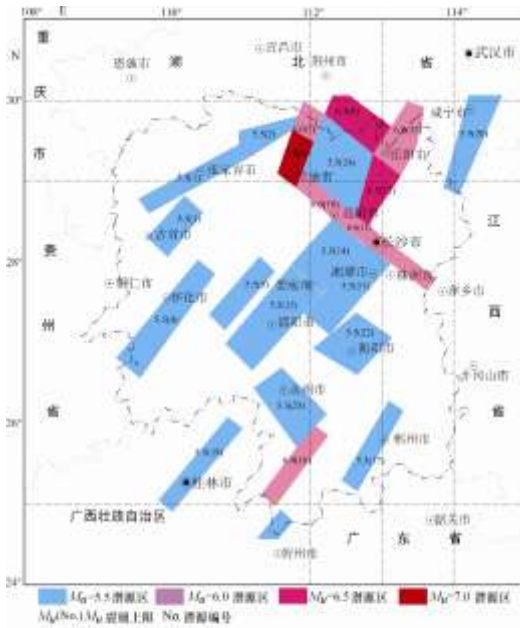
潜在震源区划分仍采用“地震重复”和“构造类比”两条基本原则。此外，据以下原则划分潜源区，即新构造特别是晚第四纪差异性活动显著的地段，应考虑划分潜在震源区，一般划分为震级稍高一些的潜在震源区；对明显断错早、中更新世地层的断层，一般需考虑划分为中等震级的潜在震源区；对于仅有断层物质测年显示的早-中更新世有活动的断裂，但新构造运动时期差异性运动不明显，对第四纪地层分布没有控制作用，无断错早-中更新世地层证据的断裂，亦无地震活动证据，则不划分潜在震源区；中小地震活动呈带密集发育的条带，显示了深部有差异性活动，尽管尚未发生中强地震，也应考虑为震级上限低一些的潜在震源区。潜在震源区的范围参考中小地震密集条带分布范围划分；确定潜在震源区的范围和方向时主要依据断裂延伸方向、断裂带的规模以及中小地震的分布范围。同时还考虑断层分段和断层交汇等因素。

4 潜在震源区划分方案

中强地震活动地区应以地质构造类比为主，为此，对提出的7种潜在震源区划分方案(图6)进行了对比。

(1) 潜在震源区划分方案 1 原则及论证

该方案主要是依据第四代地震动参数的划分方案，其参数也是利用原有地震区和地震带的参数。



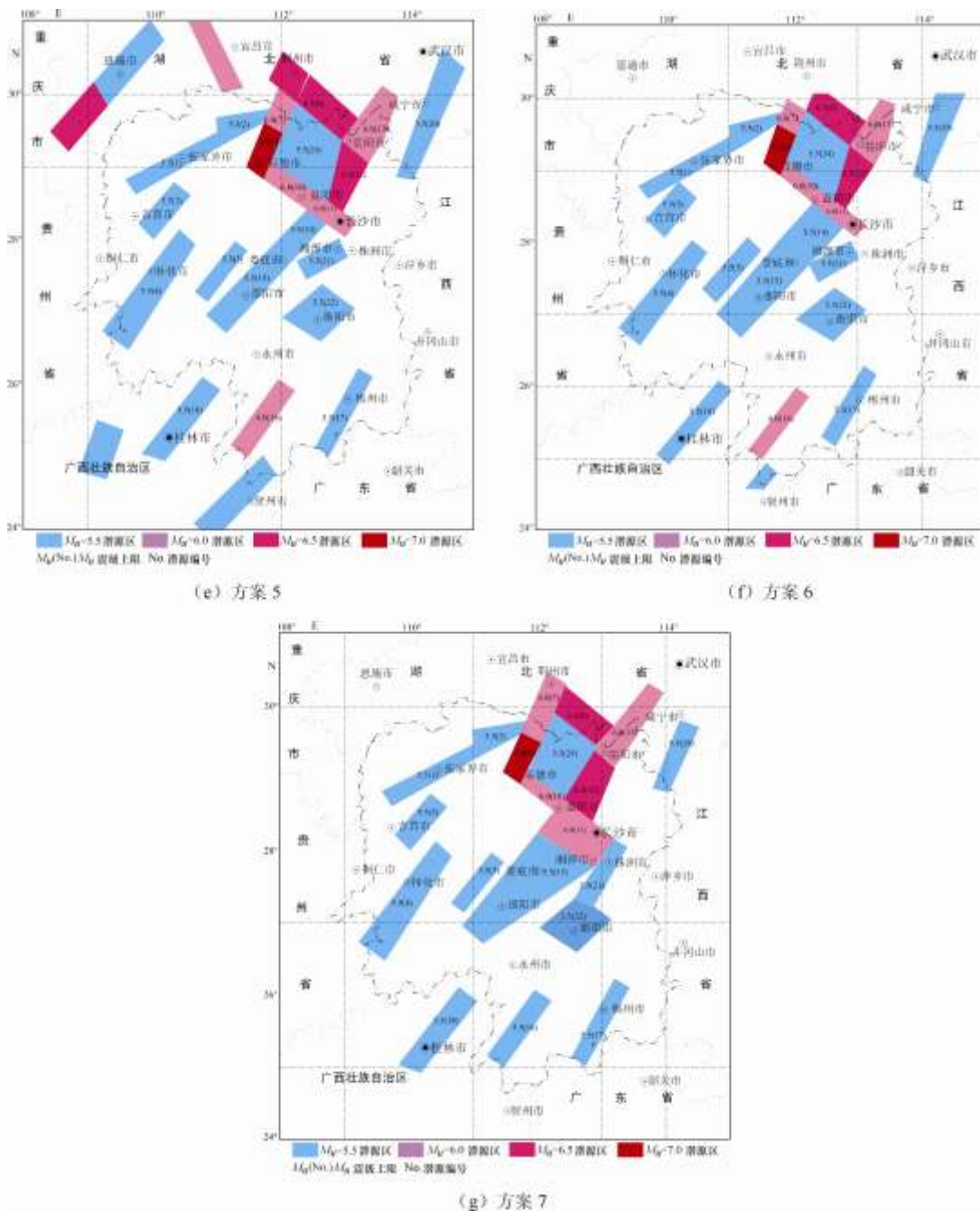


图 6 湖南省地区 7 种潜在震源区划分方案

Fig. 6 Seven zonation programs of potential seismic sources of Hunan Province

(2) 潜在震源区划分方案 2 原则及论证

地震与地质资料是划分潜在震源区的重要依据。根据湘东地区中强地震分布与断裂早第四纪活动特征，划分潜在震源区（表 2）根据以下原则：

- ① 对于第四纪差异活动盆地，在发震构造不清楚，也无其他反映活动构造的线索的情

况下，若是张陷盆地，潜在震源区宽度需包括整个盆地的宽度；如是压陷盆地，潜在震源区的宽度应比盆地宽度稍大（周本刚等，1997），如衡阳盆地潜在震源区划；

② 在北西与北东向断裂复合部位，断裂中更新世活动幅度较大，且历史上有中强地震活动的地区勾划为 6.0 级地震潜在震源区，如长沙—湘潭—湘乡一带潜在震源区划；

③ 在第四纪盆地内，伴随盆地的活动必然引起沉降中心及周缘附近断裂构造的活动，存在中更新世断裂活动形迹的地区勾划为潜在震源区，如衡阳盆地潜在震源区；

④ 在向西突出的祁阳弧形构造顶部，即北西与北东构造皆发育地段，存在较弱中更新世活动构造形迹，则勾划为震级稍低的潜在震源区，如祁阳—永州潜在震源区。

表 2 湖南及邻区潜在震源划分表

Table 2 Potential source division of Hunan and its adjacent region

序号	名称	震级上限	主要特征
1	张家界—慈利	5.5	沿慈利-大庸断裂带划分，该断裂带构成新构造分区界线，中生代时期，沿断裂带形成几个小型的断陷盆地，新近纪盆地封闭，大面积抬升，局部地段形成槽地或谷地。断裂带在重力异常图上表现为重力梯度带。区内有少量中小地震发生。
2	石门	5.5	沿着澧水断裂划分。断层在中更新世有过活动。在地貌上，南侧是高程为 200m 的剥蚀面，北侧是冲积平原，堆积的第四纪地层厚有 150m 左右。1717 年发生过 5 $\frac{1}{4}$ 级地震。该发震构造的最大潜在地震震级为 5.5 级。
3	吉首—沅陵—泸溪	5.5	大致沿沅江断层带分布，断层带在地貌上表现为断层谷地、断层陡坎、断层崖和断层三角面。
4	黔阳—溆浦—会同	5.5	位于北北东向断裂和北东向断裂的复合部位，主要沿中生代盆地划分，断裂带有中小地震活动。
5	新化	5.5	沿北东向新化断裂带划分，西侧为雪峰山中高山区，东侧为低山丘陵区，沿断裂带发育中生代断陷盆地，并断错了中更新世地层。该处同时还是东西向构造与北东向构造的复合部位，表现为南升北降的特点。区内盆地边缘 1710 年发生过新化 5 $\frac{1}{2}$ 级地震。
6	太阳山	7	该潜在震源区位于北北东方向展布的太阳山隆起，是区域范围内新构造以来差异活动最为强烈的地带，具备发生强震的构造背景。断层在卫星影像上有清晰的地貌显示，断错了中更新世晚期的地层。历史上太阳山地区先后发生过 1516 年 5 级地震、1631 年 6 $\frac{3}{4}$ 级地震和 5 $\frac{3}{4}$ 级地震、1906 年 5 级地震等强震及中强地震。
7	津市	6	沿江汉—洞庭湖西侧的北东向津市拗陷及其以北第四系等厚线梯度带划分，最大厚度达 250m。区内有中小地震呈北北东方向展布。
8	荆门	6	沿北北西方向荆门地堑和汉水地堑划分，以南漳-荆门断裂等平行展布的断层在第四纪期间可能有活动。现今中小地震沿地堑西部密集分布，历史上在区外钟祥地区发生过 2 次 5—5 $\frac{1}{2}$ 级地震。
9	通海口	5.5	位于江汉拗陷中部，北东向通海口断层构成了潜江凹陷与通海口凸起之间的分界构造。通海口断层东边新近系等值线为北东向，表明通海口凸起对沉积的控制作用。断层附近先后发生过 1470 年和 1630 年 2 次 5 级地震，现今仍有中小地震展布。
10	汉寿	6	沿北西西向常德-益阳-长沙断裂带中段划分，位于 I 级新构造单元边界带上，并且存在断错早-中更新世地层的证据。
11	长沙—益阳	6	位于洞庭湖拗陷和武陵山—雪峰山隆起等 I 级新构造单元的交界部位，在北西向常德-益阳-长沙断裂上，可见断错中更新统的现象。历史上在益阳、长沙等地先后发生过 2 次 4 $\frac{3}{4}$ 级地震。
12	汨罗—湘阴	6	该潜源在中更新世以后，湘东发生大面积隆起，形成多级阶地，北东向岳阳-湘阴断层两侧地貌反差明显，该断层至少断错了中更新统地层。现今中小地震活动微弱。

续表

序号	名称	震级上限	主要特征
13	岳阳	6	位于江汉拗陷和湘东隆起的交界部位, 沙湖-岳阳断层东侧为平缓的丘陵和低山。1556 年在岳阳发生过 5 级地震, 现今沿湘江东侧有一系列中小地震分布。
14	邵阳	5.5	沿着邵阳-宁乡断层带邵阳段划分, 为中小地震密集带。
15	娄底-宁乡	5.5	沿邵阳-宁乡断层带北段划分, 该断裂发育在第四纪松散沉积层中。断裂西侧有宽 30—40km 的北东向中小地震密集分布。区内 1542 年、1631 年先后发生过 5 ¹ / ₂ 级和 4 ³ / ₄ 级地震。
16	道县-宁远	6	位于浏阳-衡东-江永早-晚期断褶带内, 主要断裂为柏万城-枇杷所压扭性断裂。沿该断裂带于 1599 年(5 级)、1782 年(5 级)和 1853 年(4 ³ / ₄ 级)曾多次发生中强地震。
17	郴州	5.5	位于北北东向茶陵-临武断裂的南段。断裂沿线温泉发育, 呈线状分布, 1643 年发生过 4 ³ / ₄ 级地震。
18	桂林-兴安	6	区内主要活动断裂为北东向的桂林-南宁断裂带。据断层的物质测年结果, 该断裂在第四纪中更新世有过活动。潜在震源区内发生过 4 ³ / ₄ 级破坏性地震。
19	通城东	5.5	沿北东向塘口-白沙岭断裂划分, 历史上发生过 2 次 5 级以上的地震, 最大地震震级为 5 ¹ / ₂ 级。
20	咸宁	5.5	沿梁子湖-咸宁断裂划分, 该断裂为江汉拗陷的东边界, 是麻城-团风断裂南延伸部分, 断裂两侧地貌存在差异, 依据构造类比, 并结合断裂自大别山向外活动性减弱的特征, 划分为震级上限 5.5 级的潜在震源区。
21	湘潭-湘乡	5.5	位于湘潭-邵东断裂带上, 它控制了湘潭盆地北部、湘乡断陷盆地。断裂第四纪时期仍有一定的继承性活动。地震活动多位于断陷盆地的边缘或断裂首尾错列地段。1931 年发生过 4.8 级地震。近期记录过多次有感地震。
22	衡山-衡阳	5.5	位于衡阳-永州断裂的衡阳段内, 第四纪中更新世断陷盆地衡阳盆地内, 在中更新世地层中穿越有断裂迹象。该断裂带是湘东-鄂东断块隆起区与武陵-雪峰山隆起区构造单元的分界构造。1782 年在宁远曾发生过 5.0 级地震, 近期发生过多次小震和有感地震。
23	永州-祁阳	5.5	位于衡阳-永州断裂的永州段内, 第四纪中更新世断陷盆地内, 在中更新世地层中穿越有断裂痕迹。1782 年在宁远曾发生过 5.0 级地震, 近期发生过多次小震和有感地震。
24	洞庭湖	5.5	位于被多条北西和北东向潜在震源区围限的洞庭湖第四纪盆地内。其内有南县-汉寿断裂等, 曾于 1516 年、1717 年分别在澧县东南安乡附近发生过 5.0、5.3 级地震。

⑤ 沿断裂现代中小地震具有明显的第四纪特征, 可以勾划为潜在震源区, 如邵东潜在震源区。

(3) 潜在震源区划分方案 3 原则及论证

根据周本刚在湖南及湖北两省工作经验划分。同时根据周本刚在湖南及湖北参加核电安评的研究^{1,2,3,4}, 并在课题阶段讨论会上交流, 形成此方案。

(4) 潜在震源区划分方案 4—7 原则及论证

- 1 中国地震局地质研究所, 湖南省防震减灾工程研究中心, 2006. 大唐华银核电项目可研阶段地震安全性评价报告.
- 2 中国地震局地质研究所, 湖南省防震减灾工程研究中心, 2006. 湖南小墨山核电厂可行性研究阶段地震安全性评价报告.
- 3 中国地震局地质研究所, 湖南省防震减灾工程研究中心, 2006. 湖南桃花江核电厂候选厂址初可阶段地震调查与评价报告.
- 4 中国地震局地质研究所, 湖南省防震减灾工程研究中心, 2007. 湖南桃花江核电厂可行性研究阶段地震安全性评价报告.

根据衡阳核电报告资料,综合第四代地震动参数区划图的结果以及在方案 2—3 的基础上增加了衡阳、湘潭潜在震源区,即划分出方案 4—7。

现就衡阳、湘潭潜在震源区的特征简述如下:

① 衡阳潜源特征

该潜在震源区沿着衡阳断裂带划分。在泉溪镇西约 2km 处蔡家冲公路边,可见耒水中更新世河流相砾石层被断错现象。在该套砾石层与棕红色粘土层之间,存在一组破劈理面,并且断面具有切过砾石层顶面继续向上延伸的迹象。沿着断面,砾石略显定向排列,并有宽约 15—20cm 的构造混杂带。采集断错地层的年代样品 (E-CZ-3),测试结果为距今 (468 ± 46) ka。根据构造类比原则,该潜在震源区震级上限为 5.5 级。

② 湘潭潜源特征

该潜在震源区沿着湘乡断裂划分。湘乡断裂地貌表现清楚,沿带发育断崖及断层三角面,是湘乡红盆地的边界断裂。第四纪时期,该断裂对中更新统下段的新开铺组分布有明显控制作用。在庙湾里,可见直接断错中更新世地层的构造现象,为一条中更新世断裂。根据构造类比原则,震级上限为 5.5 级。

5 潜在震源区震级评定因素及结论

潜在震源区划分的合理性和可靠性在很大程度上取决于强震发生条件的识别,不同地区发生同级地震的构造标志是不同的(张裕明等,1992;1994)。

湖南区域北部属华南地震区的长江中游地震带与东南沿海地震带。长江中游地震带为华南地震区最北的一条地震带,包括四川、湖南、湖北、贵州、广西、江西、浙江和福建大部或部分地区。北邻华北地震区,南邻东南沿海地震带。东南沿海地震带包括东南沿海、东海南部、台湾海峡及南海北部海域。本地震带位于华南加里东褶皱带,地壳厚度从海域向大陆逐渐增厚。

根据湖南省及邻区的地震活动性、地震构造、地球物理等特征,在潜源划分中震级上限评定主要考虑以下因素:区域地震活动的总体水平,从区域地震活动强度对潜在震源区的震级上限进行宏观控制;潜在震源区的震级上限应等于或大于历史地震震级;新构造位置及活动性类似地段,如果没有资料说明它们在晚第四纪以来构造活动存在差异,应通过构造类比划分为相同震级上限的潜在震源区;对于在地表发现断错晚更新世或全新世地层的断层,需要考虑划分为震级上限 6.5 级或 6.5 级以上潜在震源区的可能性,在这种情况下需要考虑断层活动幅度或活动速率的大小;对于断错早、中更新世的断层,且位于重要的新构造分区边界,需要考虑划分为震级上限 6 级或 6 级以上潜在震源区的可能性;对于规模较大的断层带,有地质地貌证据显示中更新世有过活动,一般可划分为低震级潜在震源区,如 5.5 级潜在震源区。

中强地震活动地区具有危险性低而风险性高的特点。我国约三分之一地区位于中强地震活动地区,科学合理地确定这些地区的抗震设防要求,对这些地区的地震安全,特别是农村地区的地震安全是至关重要的,地震区划是制定抗震设防要求的基础。中强地震活动地区的地震活动性分析方法、潜在震源区划分及其震级上限的确定和地震动衰减关系的研究,仍然是制约地震区划科学性和合理性的关键因素,应该进一步加强研究。应结合国内外中强地震地区潜在震源区划分及地震活动性参数确定的最新研究进展,发展一种以新构造运动特征为

加权因素的活性空间光滑方法, 加强地震资料、地质资料和地球物理场资料的融合使用, 加强经验判断与数理统计方法的结合, 提高潜在震源区划分的科学性。

致谢: “湖南中强地震活动地区抗倒塌地震区划图示范编制(2006BAC13B01-0605-1)”是科技部2006年设立的国家科技支撑计划课题——“强震危险区划关键技术研究(2006BAC13B01)”的第六专题“地震区划概率水准确定与地震区划图预编试验研究”中的第五个子专题, 本文的研究工作是以此为基础的, 在此, 对该项目的所有专家、同仁, 以及对本文研究成果有贡献的所有专家、同仁表示诚挚地感谢。

参考文献

- 高孟潭, 1988. 关于地震年平均发生率的探讨. 国际地震动态, (1): 1—5.
- 高孟潭, 潘华, 1993. 地震区划结果随机场特征. 地震学报, **15** (1): 53—60.
- 高孟潭, 2003. 新的国家地震区划图. 地震学报, **25** (6): 630—636.
- 高孟潭, 2006. 关于下一代地震区划图的编制原则与关键技术的探讨. 震害防御技术, **1** (1): 1—6.
- 高孟潭, 肖和平, 燕为民等, 2008. 中强地震活动地区地震区划重要性及关键技术进展. 震灾防御技术, **3** (1): 1—7.
- 胡聿贤, 高孟潭, 2006. 《中国地震动参数区划图》宣贯教材. 北京: 中国标准出版社, 84—98.
- 李颖, 胥广银, 陈鲲等, 2007. 湖南省中南部地区地震区划研究. 中国地震, **23** (1): 17—24.
- 时振梁, 李裕澈, 2001. 中国地震区划. 中国工程科学, **3** (6): 65—68.
- 时振梁, 鄢家全, 高孟潭, 1991. 地震区划原则和方法的研究——以华北地区为例. 地震学报, **13** (14): 179—189.
- 向宏发, 韩竹军, 张晚霞等, 2008. 中国东部中强地震发生的地震地质标志初探. 地震地质, **30** (1): 202—208.
- 肖和平, 2009. 湘东地区断裂活动性及潜在震源区划分研究. 地震地质, **31** (3): 488—500.
- 肖和平, 缪卫东, 2010. 湘东南地区地震构造环境分析. 大地测量与地球动力学, **30** (增刊(I)): 100—104.
- 张裕明, 1992. 在确定潜在震源区中地震与地震资料的应用. 地震地质, **14** (3): 275—278.
- 张裕明, 周本刚, 1994. 当前潜在震源区研究的主要方向. 中国地震, **10** (1): 1—8.
- 周本刚, 张裕明, 董瑞树等, 1997. 划分潜在震源区的地震地质规则研究. 中国地震, **13** (3): 241—252.
- Frankel A., 1995. Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. Seism. Res. Lett., **66** (4): 8—21.

Principles of Potential Seismic Source Division on Pre-programmed Test of Anti-collapsed Seismic Zonation Map of Hunan Province

Xiao Heping¹⁾, Chen Xueliang²⁾ and Gao Mengtan²⁾

1) Earthquake administration of Hunan Province, Changsha 410004, China.

2) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration. Beijing 100081, China.

Abstract Based on the results of "determination of probability standard of seismic zonation and pre-programmed test of seismic zonation map", seismic safety evaluation report of nuclear power project of Hunan Province and other relevant information are extensively collected. From theoretical and practical analysis of seismic activity, seismic structure, geophysics, geological field and seismic geological fieldwork etc., the pre-code principles and methods of the division of potential seismic sources are put forward, and seven kinds of division program of potential seismic sources are compared with each other. Our results are significant for the eastern Chinese mainland zonation, since Hunan Province is a typical representative seismically in this region.

Key words: Hunan; Anti-collapse; Seismic zonation; Potential source area