

南海北部沿岸断块区深部构造与地震活动关系*

黄玉崑 夏 法
(地质学系)

地震是地壳运动的一种表现方式。南海北部沿岸断块区的地震活动,通过对地面震中的分布、迁移,活动断裂的力学性质,地壳垂直形变,以及构造应力场等分析来进行发震条件的研究,早已引起广泛的注意,并取得了一些规律性的认识。在以预测地震危险区为目的的地质构造研究中,加强由浅部向深部,即由震中向震源,由地震带向地震层的对比研究,将有助于提高地震预报的水平。

本区地壳结构有两个主要特征:其一是成层性,其二是块断性。两者互相结合组成了岩石圈的空间构造格局。

南海北部沿岸地震活动显示为:在水平方向上沿块体两侧出现的块断错动(图1),以及在垂直方向上沿块体顶底不同层面出现的层间滑动。根据相关分析,对于 $M \geq 4$ 的地震来说,后一种运动方式似乎起着主导的控制作用。

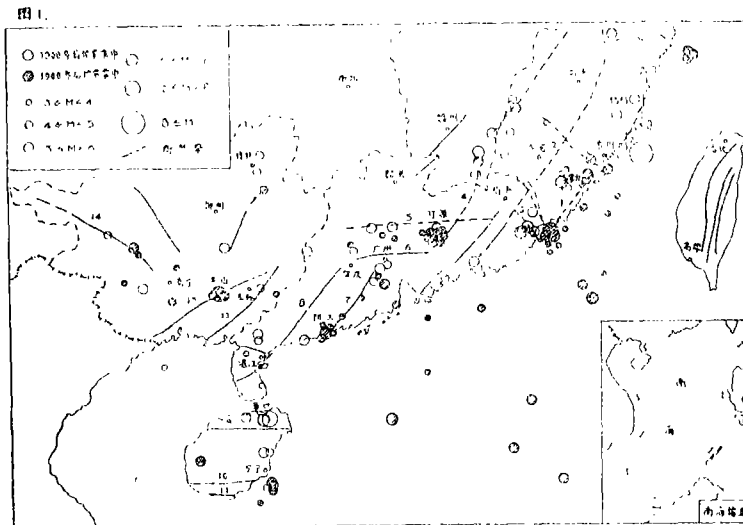


图1. 南海北部地区主要断裂带和震中分布图
1. 汕头-惠州断裂带, 2. 汕头-揭阳断裂带, 3. 揭阳-阳江断裂带, 4. 河源-韶关断裂带, 5. 佛冈-番禺断裂带, 6. 三水-广宁断裂带, 7. 阳江-阳春断裂带, 8. 阳江-茂名断裂带, 9. 茂名-高州断裂带, 10. 大塘-岑溪断裂带, 11. 茂名-电白断裂带, 12. 阳江-北流断裂带, 13. 阳江-开平断裂带, 14. 阳江-新会断裂带, 15. 阳江-恩平断裂带, 16. 阳江-鹤山断裂带

* 本文部分实际资料由广东省地震局(队)、省地质局(队)提供

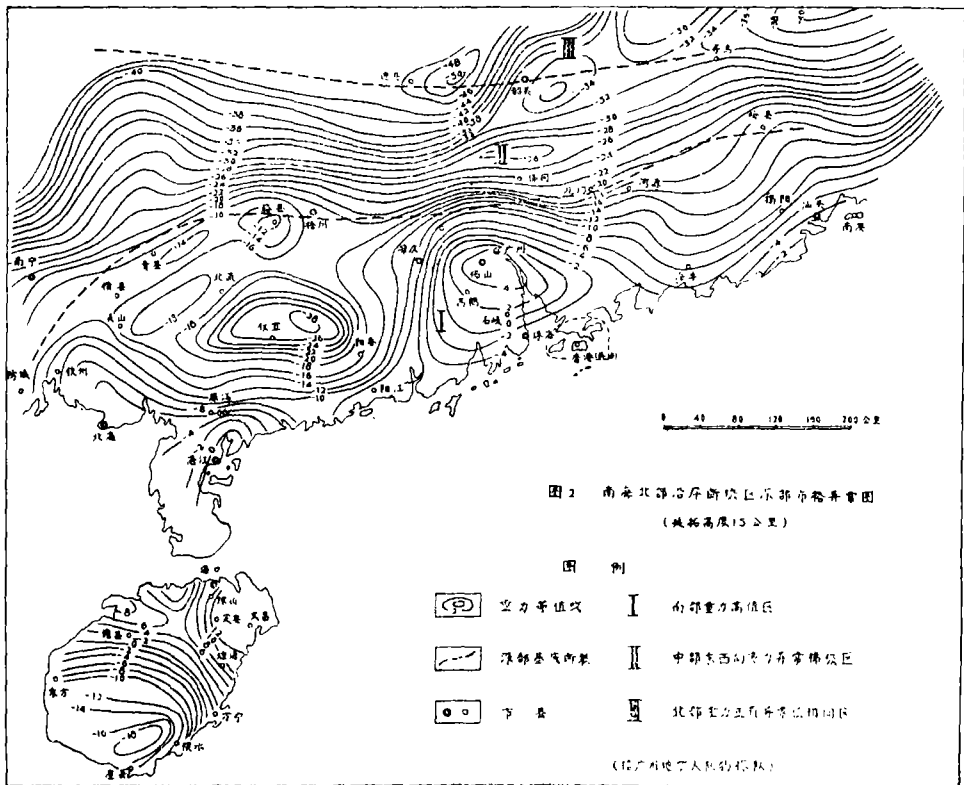
本文通过对深部基底构造与地震活动的相关分析，着重讨论佛岗东西向构造带以南沿海地区的地震活动。

一、深部重力场与地壳深部构造基本轮廓

南海北部沿岸断块区地壳的垂直分层和深部基底构造，从地球物理与重力资料可以得到反映。本区大体以佛岗东西向构造带为界，其南为南部重力高值区：即自梅县、河源、梧州、藤县、横县、南宁一线以南（包括海南岛）沿岸地带，深部重力较高。在此范围以内，四会、阳春、廉江一线为界，又可分成东西两带。东带为高值带（包括海南岛），重力值13—20毫伽，其中出现四处高值，即南澳（-2毫伽）、广州（4毫伽）、海康（0毫伽）、定安（12毫伽）；西带为低值带，其值为-10—-29毫伽，信宜位于低值处（-28毫伽）（广州地震大队，1975）。

佛岗东西向构造带以北，为北部重力正负异常值相间区：位于寻乌、韶关、连县、大苗山一线以北，自东向西深部重力值出现正负交替，各异常带的走向在北东22°—50°之间。

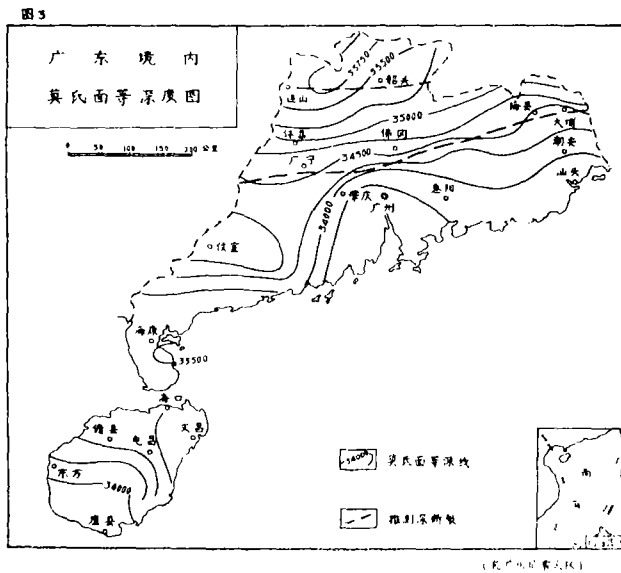
大致相当于佛岗东西向构造带的范围，为中部东西向重力异常梯级区；其特点为重力异常方向近东西向，重力场简单，自南向北重力均匀单一减少，其值由-20毫伽，减至-44毫伽，等值线东端在河源，西端在贵县，均自东西转为北东走向（图2）。



深部重力场反映了南海北部沿岸断块区地壳深部构造的基本轮廓。沿海地区康氏界

面深部构造总的特点是东南浅，西北深，中间分布着一条走向东西，向北微倾的单斜构造带。深部构造分区界线与深部重力异常分区界线相一致。各深部构造区具如下特征：

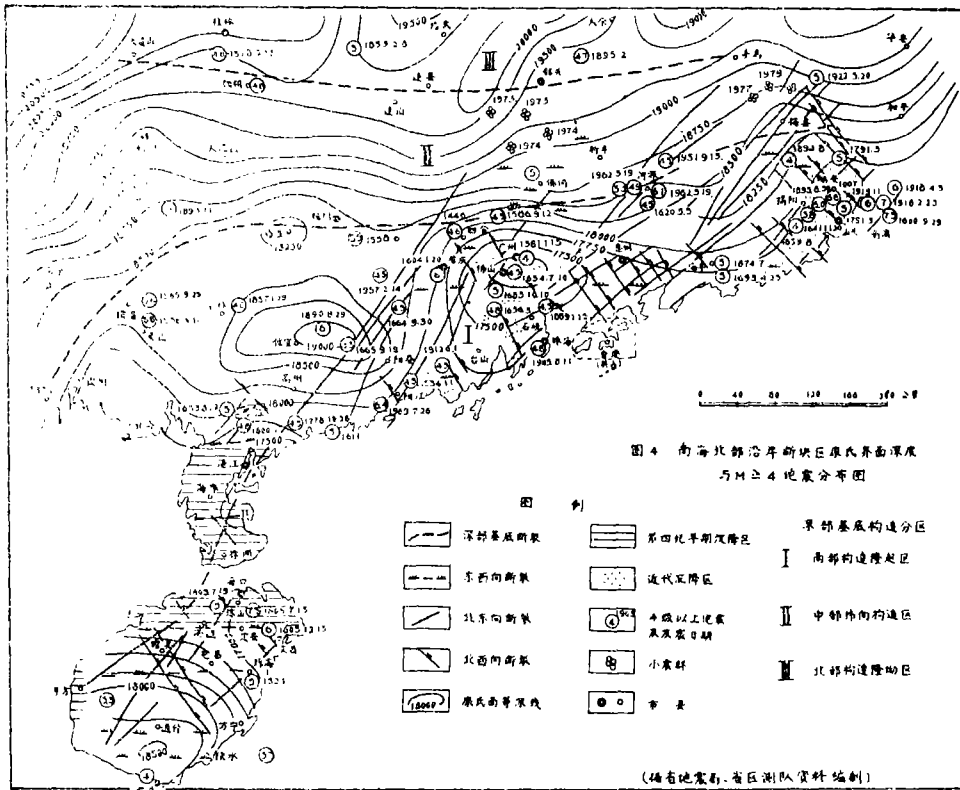
南部构造隆起区：相当于南部重力高值区的范围，康氏界面的深度为17—19公里，莫氏界面的深度为33.5—34.7公里(图3、4)，两者起伏形态一致，其上沉积盖层或前寒武纪岩层底界面深度变化为4—16公里。由于区内花岗岩及混合岩广泛出露地表，导致盖层厚度各处变化较大。在粤西，由加里东及印支构造层组成的盖层，厚度变化为5—16公里(其中印支构造层厚5—6公里、加里东构造层厚7—10公里)；在粤东，主要由燕山构造层及印支构造层组成盖层，厚度变化为4—15公里(其中燕山构造层厚4—9公里、印支构造层厚5—6公里)(广东省地质局区域地质调查大队，1977)。盖层分布的特点是粤西及粤东沿岸较厚，海拔较高，粤中沿岸则相对变薄，海拔较低。区内盖层与康、莫氏面凹凸形态相反，大体以珠江三角洲为中心，形成沉积盖层下凹，康、莫氏面上凸的地壳垂直分层，二者呈反向形态。按照米拉诺夫斯基和哈因对三个主要界面起伏关系的分类^[2]，南部构造隆起区的垂直分层特征属于b型。康、莫氏面与上复盖层呈反向形态的成因，可能与水平挤压、岩浆凝固或莫氏面相变有关。区内康氏面总体走向北东东。在四会、阳春、廉江一线以东，发育了南澳—广州—海南岛深部构造隆起带，并出现南澳、广州、雷州半岛和定安四个高峰，康氏界面深度对应为17.75、17.25、17.50、17.00公里；西面信宜和北面河源为拗陷带，康氏面深度为19.00及18.50公里。在整个南部构造隆起区内，康氏面褶曲起伏剧烈，发育着一系列轴向北西的次级隆起及拗陷褶曲，等深线呈北东、北西向正弦曲线状弯转。东自南澳，西至琼山形成轴向北西—北西西向的许多个背形与向形褶曲构造：即南澳—揭阳背形、河源—海丰向形、佛山—高要背形、信宜—阳江向形、琼山—文昌背形等(图4)。



中部纬向构造区：位处中部东西向重力异常梯级区的范围，佛岗东西向构造带在深部仍为一走向东西，南浅北深的单斜构造。康氏面深度为18.5—20公里，莫氏面深度为

34.5—35.5公里，平缓往北倾斜。

北部构造隆拗区：为北部重力正负异常值相间区，康氏面在17.8—21.5公里深度，莫氏面在34.3—37.5公里深度范围内起伏变化，形成一系列北东22°—50°走向的隆起带和拗陷带。在粤北，主要由加里东及印支构造层组成的盖层，厚度变化为5—16公里(其中印支构造层厚5—6公里、加里东构造层厚7—10公里)。



深部断裂带：根据深部断裂梯度带和深部重力场分区特征，南海北部沿岸在两广段内存在两条深部断裂带。其一为南断裂带，自梅县、河源、梧州、横县、钦北一线延伸；其二为北断裂带，自寻乌、韶关、连县、大苗山一线延伸。二者处在两种深异常场和两个构造带分界的地方。由于断裂两侧深部构造的不同，造成深部断裂带及其两侧相互独立的地壳活动，形成不同的发震特点。

南海北部沿岸断块区深部基底构造的特征，反映本区中生代以来强烈的地壳运动，决定了现今浅部和深部的构造形态。对发震构造来说，最有意义的是嵌在北东向构造带为主体的盖层中的佛岗东西向构造岩浆带，始终保持着原来东西向深断裂的构造骨架。中部纬向构造区康氏面所形成的向北缓倾的深部单斜构造，构成了南海北部沿岸强震屏障带。

二、地震分布与基底构造关系

南海北部沿岸两广地段，自1445年至1969年的525年中发生4级以上地震62次。其

中：南部构造隆起区36次，占58%；北部构造隆起区14次，占22.6%；中部纬向构造区内8次（7次发生在深部断裂带附近），占12.9%；除小震群外，真正发生在本区的4级地震只有一次，反映了强震屏障带的特点。

在地壳的垂直方向上，震源的空间分布特征与地壳分层有关。南部构造隆起区内震源的层状分布，说明地震与层间滑动具成因联系，地震层在垂直方向上的主要表现为：

1. 震源纵向分布深度，受控于不同地震层，地震主压应力方向随深度而变化。本区陆上震源深度一般为5—20公里，在康氏界面以内，属地壳层间浅源地震，断块的基底断裂处在盖层底界或花岗岩质层和康氏面附近，切过不同的地震层，控制着发震构造。

在南部构造隆起区内，强震纵向分布深度因深部构造部位不同而异，见于不同的地震层。例如南澳，震源深度为17—20公里，靠近康氏界面，主要位于康氏面上下的花岗岩质层及玄武岩层内，地震即由界面上下地震层的层间滑动所引起，河源、阳江、封川、灵山，震源深度在5—8公里，相当于沉积盖层或前寒武纪岩层底界附近，地震为盖层与花岗岩质层之间的层间滑动发育的结果。

区内 $M \geq 4$ 的地震，大多数分布在花岗岩类或混合岩类地区。例如河源、南澳地震发生在花岗岩区，阳江、信宜地震则发生在混合岩地区。在火成岩侵入周围，盖层往往变薄，一般为5—8公里。花岗岩类在沿岸大面积分布，出露约占总面积65%，表明震源除与地震分层深度有关外，还与易于破碎的脆性花岗岩类有关，这也是南部构造隆起区地震居于首位的一个重要因素。据省地震局实验资料，花岗岩类对于地应力的抗压抗剪强度较沉积岩类要高得多，例如抗压强度，花岗岩为1487—2501 kg/cm^2 ，大理岩为600—1888 kg/cm^2 ；而抗剪强度，花岗岩为99—163 kg/cm^2 ，大理岩为43—119 kg/cm^2 ，砂岩为77—115 kg/cm^2 ，花岗岩的这种物性条件，也是破坏性地震发生的重要因素之一。

河源新丰江水库区的地震，发生在中生代燕山期花岗岩体中，震源深度4—10公里，相当于盖层底界与花岗岩质层之间的深度。地震主压应力随深度而变化。根据1972年1—3月观测水库区132个微震资料主压应力方向统计，近于水平的主压应力集中在7公里以上的占67%；主压应力近于垂直方向的地震集中在7公里以下深度的占65%⁽⁸⁾。张文佑教授等认为：7公里的深度可能代表水库区下花岗岩体弯曲型褶曲向斜的中和面，中和面以上主压应力方向近于水平，中和面以下主压应力方向近于垂直，由此决定了水库区地震主压应力方向的变化。据调查，7公里深度的中和面正好与水库区周围的“花岗岩质”层之上由印支构造层组成的盖层厚度相近，中和面上下可能反映不同深度的地震层的存在，并显示不同的构造应力状态。

2. 本区 $M \geq 4$ 的地震的相关分析表明，强震震源的震中位置，主要与康氏界面次级褶曲之转折端附近及与其相对应的北西—北西西向褶曲轴线在平面的投影吻合，中强震震源在地面的震中基本上落在褶曲倾没端及扬起端弯曲的带状正弦曲线部位上，即主要出现在康氏界面等深线17.50—18.50公里范围的投影段内。南部构造隆起区以北的中部纬向构造区，由于深部构造形态简单，康氏界面平缓，地震分布极少。

南海北部沿岸地壳厚度有自东向西，自南而北增厚的特点，与其对应的地震强度及频度则相应减弱。断块区深部康氏界面背、向形褶曲的存在，说明基底构造层面的起伏大，

重力梯度变化也大，导致地壳厚度的变化也异常明显，故出现的强震亦较多。

从层间滑动的观点看，当地壳受力产生水平层间滑移时，强震多出现在褶曲转折端附近及轴部，它反映层面起伏陡峻的地方，滑动时容易受到阻碍，造成应力集中，能量在此释放，引起地壳形变与发震。因此，这些部位地震活动性高。重力梯度在区内与地震活动形影相随，重力梯度愈大，则层面起伏愈大，受到阻碍也愈大，积累的能量也愈多。从基底构造分析，断裂带及地壳不同层面的起伏区，具备孕震的条件。对南部构造隆起区而言，盖层底界面与康氏界面褶曲转折端附近及轴部是容易发生强震的构造部位；在不宽的带状褶曲正弦曲线与褶曲轴线所围限的其余空间，以及深部构造形态简单的地区，由于应力不易集中，则是相对安全的地带，很少发生4级以上地震。在地震危险区内，对于重大工程设施的布局及选择安全岛具有实际意义。

3. 深部强震迁移的时空特点是沿相邻褶曲对称构造部位快速行进。迁移固定在相邻的背形之间或相邻的向形之间走动，一般发震时间间隔为1至数年(表1)。例如，1600年9月19日，发生在南澳—揭阳背形中M=7的南澳地震→1604年1月26日，发生在高要—佛山背形中M=6的高要地震→1605年10月7日，发生在琼山—文昌背形中M=7.5的琼山地震→1605年10月7日，发生在琼山—文昌背形中M=7.5的琼山地震，在相邻对称背形构造部位的续发震例中，其时间间隔为1至4年；又如，1962年3月19日，发生在河源—海丰向形中M=6.1的河源地震→1969年7月26日，发生在信宜—阳江向形中M=6.4的阳江地震，相邻对称向形构造部位的发震时间间隔为7年。

南海北部沿岸断块区
基底构造与强震活动的特征表 表1

地点	康氏界面褶曲部位		震级	层面深度 (公里)	发震日期	迁移时间(年)	
						相邻对称 构造部位	同一褶曲 构造部位
揭阳	背形褶皱 转折端附近	5.8	17.75	1641.11.26		(41)	
		6.0		1895.8.30			
南澳	背形次级褶 曲轴的东西段	7.0	17.50	1600.9.19			
		7.3		1918.2.13			
高要	背形褶皱 转折端附近	6	17.75 - 18.00	1604.1.26		(4)	
佛山	背形北面褶 曲轴的东西段	4.5	17.00	1654.7.10		(50)	
		4.5		1903.8.1			
琼山	背形褶皱 转折端附近	7.5	17.00	1605.7.13		(11)	
文昌	背形次级褶 曲轴的东西段	4	17.00	1703.3.7		(93)	
海丰	向形轴部 转折端附近	5	17.75	1971.7			
河源	向形北面褶 曲轴的东西段	6.1	13.50	1962.3.19		(80)	
阳江	向形轴部 转折端附近	6.4	17.75 - 18.00	1969.7.26		(75)	
信宜	向形北面褶 曲轴的东西段	6	16.75 - 17.00	1990.5.20			

如，1600年9月19日，发生在南澳—揭阳背形中M=7的南澳地震→1604年1月26日，发生在高要—佛山背形中M=6的高要地震→1605年10月7日，发生在琼山—文昌背形中M=7.5的琼山地震，在相邻对称背形构造部位的续发震例中，其时间间隔为1至4年；又如，1962年3月19日，发生在河源—海丰向形中M=6.1的河源地震→1969年7月26日，发生在信宜—阳江向形中M=6.4的阳江地震，相邻对称向形构造部位的发震时间间隔为7年。

在同一褶曲构造部位内，强震在康氏面褶曲转折端与轴线之间作慢速迁移，发震时间间隔，一般在数十年以上。中强震震源亦多沿褶曲转折端正弦曲线及褶曲轴线作慢速迁移。相关分析表明，强震震中在地表呈曲折路线

走动，是深部震源沿相邻褶曲对称构造部位快速迁移在空间上的反映；浅部构造中的活动断裂带与深部构造康氏界面褶曲转折端正弦曲线在平面投影上重合的地段，地震活动的强度和频度明显增强，非重合地段的的活动断裂带，地震活动很弱。从发震构造看，本区浅部构造活动断裂带不同地段地震活动的强弱，是认识地震的响导，而深部构造往往

控制浅部构造，是地震的本质。

4.南海北部沿岸断块区处在太平洋板块与菲律宾板块向近西方向的水平压应力的作用下^[6]，本区现代构造形变，对于水平方向上的块断错动多为剪切破裂，主要是北东方向的右旋走滑断层活动（兼有压性），间或有与之共轭的北西向的左旋走滑断层活动。从震源在水平方向上带状分布的特点，构造应力场的主压应力轴方向和震源机制解得到的主压应力轴方向符合得较好。当本区地壳在远场应力作用下沿垂直分层界面作层间滑动时，震源在垂直方向上的层状分布，相邻对称构造部位在同一地震活跃期内，背形与背形构造部位或向形与向形构造部位，处于相似的应力状态，从而导致南部构造隆起区内强震在深部相邻褶曲对称构造部位作快速迁移，但其发震能源可能没有直接关系。可以认为，快速迁移的原因是由于一方能量的释放对另一方能量的释放起了触发作用^[4]。正象南澳发生大震，起了触发高要、琼山相邻背形对称构造部位发生大震的作用；同样，河源大震，触发了阳江相邻向形对称构造部位发生大震。这是由于一方发生大震时，随着地壳中应变能的释放，另一能源中的一部分能量也释放出来。这种触发作用是通过地壳起作用的。如果发生大震，震区地壳中的应变就随应力的解除而解除，其作用自然会影响到处于相同应力状态的邻近构造部位。如果地震与其相邻的对称构造部位完全是弹性联结，其作用会立即传到那里，但由于地壳中存在粘性、塑性、固体摩擦等各种不可逆的张弛作用，以致上述作用传递到相邻对称构造部位的发震地区，即便快速迁移也需要一定时间。

5.南海北部沿岸断块区康氏界面在南部构造隆起区内强烈起伏，反映了地壳重力的均衡代偿作用，深部构造背形所处的部位控制着地壳新构造期的沉降区，向形所处的构造部位则对应着隆起区。如南澳-揭阳背形为韩江三角洲，高要-佛山背形为珠江三角洲，琼山-文昌背形则为雷琼凹陷，在上述各处，康氏界面上凸而较浅，分别为17.50、17.25及17.50公里。深部背形构造部位质量过剩，正好补偿了浅部地壳新构造期沉降区的松散沉积物质量之不足，莫、康氏界面的上隆，导致地壳在沉降区变薄，向形

部位则为新构造期之隆起区，地壳厚度增大，在河源-海丰向形及信宜-阳江向形，康氏界面深达18.50和19.00公里，莫、康面均向下凹，地壳浅部隆起为褶皱山区及丘陵地区，反映了地表质量过剩，补偿了地壳深部之不足。从表2所列夷平面高程可以看出，粤西及粤东较之珠江三角洲沉降区所在之粤中沿岸更显得山地陡峻，以及地壳垂直形变较大。

南海北部沿岸断块区地势北高南低，陆地大部为隆起区，各地隆起幅度不等。新构造的强烈活动，引起较老构造带的进一步破裂^[6]。珠江及

广东各级夷平面高程 表2

高程(米)	1	2	3	4	5	6	7	8
粤西	200-250	300-350	500-550	800±	1000-1050	1250-1300	1500-1500	
粤东	200-250	300±	500-550	800±	1000-1050	1250-1300	1500	
粤中	200-250	300-350	500-550	800±	1000-1050	1250-1300		
粤北	200-250	300-350	500-550	800±	1000-1050	1250-1300	1500-1500	1800以上
珠东南	200-250	300-350	500-550	800±	1000-1050	1250-1300	1500-1500	1800

韩江三角洲盆地, 雷琼凹陷等现代地垒形地块和地堑正是这样形成的。本区沿岸广泛发育以北东、北西和东西向三组主要断裂交织形成的网格破裂图象, 所夹持的各菱形断块的差异运动是独立的。它不单反映在同期形成的同级夷平面在不同地区高度有差异, 而且断块的运动方向和速率也有明显的不同。在珠江三角洲的下沉区, 是受张应力引起的下沉, 其应力特征与深部背形构造有关。在隆起区, 显示其遭受挤压而引起, 其应力特征与深部向形构造有关。

6. 强震在深部不同褶曲构造部位交替发生, 与作用其上的局部挤压应力方向的交替变化可能有关。由于地壳物质的不断调整变化, 导致地幔物质的上拱和下凹, 使深部构造隆起区(背形)或拗陷区(向形)的应力状态发生变化, 并反映在地壳表面的垂直形变上。在远场应力方向不变的作用下, 当背形褶曲轴部处于拉张时, 其上的现代沉降区持续下沉; 此时, 相邻向形褶曲构造部位处于挤压, 积累应力, 其上的现代隆起区则保持上升, 处于孕震状态。当向形构造部位一旦发生强震后, 应力随之释放, 深部物质跟着进行调整和重力均衡补偿, 这时在背形构造部位上的沉降区的下沉速度就会逐渐变慢或显示反向上升, 应力的挤压方向就会发生从向形转至背形构造部位的交替变化, 从而使背形地区的应力得到积累和加强, 强震就会从向形向背形构造部位发生交替转移。根据近年来对韩江三角洲的研究, 得出该区地壳和构造变动幅度较大, 在呈长趋势的沉降过程中, 间有较大幅度的隆起, 在一定程度上表现振盪不定的征象。可能表明产生于深部向形构造部位的河源、阳江强震之后, 应力的挤压交替和积累正有利于向相邻深部南澳一揭阳等背形构造部位转移, 应当引起注意并加以研究。

结 束 语

南海北部沿岸断块区的地震活动与地壳结构及深部构造密切相关。尽管本区地表断裂极其复杂, 结合浅部和深部构造分析, 就可能从纷繁的断裂中找出与发生地震的相关构造来。

本区 $M \geq 4$ 的地震活动方式, 以层间滑动为主。断块的基底断裂切过不同的地震层, 因而层间滑动常与块断错动形影相随, 并以活动断裂或地壳破裂反映于地表。

相关分析发现, 南部构造隆起区的强震, 震源有沿康氏界面褶曲相邻对称构造部位快速迁移的时空特点。故当某一背形一旦发生强震, 就应注意其相邻背形构造部位有可能很快触发强震。同样, 当强震发生在向形部位时, 就应监视其相邻向形构造地区。据此, 将有可能使预测地震危险区的方向、范围以及发震时间的区间大大缩小。

在被活动断裂带围限的地块内, 沿康氏界面褶曲转折端不宽的带状正弦曲线与轴线部位, 层面起伏陡峻, 滑动时易于受阻, 有利于应力集中和释放, 是容易产生强震的地段, 其余空间应力不易集中, 是相对安全地带。

加强地形变测量与深部重力梯度的测定, 把引起南海北部沿岸断块区内隆起区与沉降区的地壳形变因素与深部基底构造特征, 上地幔物质的相变结合起来进行考虑, 对于研究在现代构造应力场作用下, 震源所处的深部构造与发震的时空关系, 具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 黄玉崑, 南海北部沿岸晚第三纪以来地壳运动的基本特征, 中山大学学报, (1980), 3.
- [2] 郭增建等, 震源物理, 地震出版社, (1979).
- [3] 张文佑等, 从块断错动和层间滑动初步探讨震源空间分布和震源力学状态的关系, 地质科学, (1973), 4.
- [4] (日)松泽武雄, 地震理论及其应用, 地震出版社, (1980).
- [5] (苏) E·Φ, 萨瓦连斯基主编, 地震前兆探索, 地震出版社, (1980).
- [6] James E. York, Richard Cardwell, and James Ni, Seismicity and Quaternary Faulting in China, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, (1976), 1983-2001.

The Relation between Deep Part Structure and Seismicity of the Fault-Block Region along the Northern Coast of South China Sea

Huang Yukun Xia Fa

Abstract

The crustal structure characteristics of this region are: One is fault-block, another is stratified. The seismicity in this region shows that the block-fault displacement is along the horizontal direction and that the interformational sliding is perpendicular to different layers along the fault-block. The latter principally controls the earthquakes $M \geq 4$.

The seismic focus is distributed along the depth of 5-20km, which is governed by different seismic layers, one of which is Conrad surface (about 17-20km), another is the lower discontinuity surface (5-8km) of the sedimentary overlying strata.

The relative analysis shows as follows:

1. The earthquakes $M \geq 4$ are essentially in the plunging edges of the folding uplift and depressive upwarded edges, which are distributed in a narrow banded zone like a sine curve along the Conrad surface.

2. The intense earthquakes are concentrated nearby the fold hinge point the axial lines.

3. The characteristics of the migration of deep intense earthquakes and their space and time are rapidly advanced along adjacent symmetrical structure parts of fold along Conrad surface. The interval of earthquake is about one to several years.

4. The intensity of seismicity is apparently increased in the coincident portions on which the active faulting zones, the sine curves of fold hinge point of the Conrad surface and the axial lines are projected on the surface.