

地壳下部及上地幔物质分异作用对 地震成因机制的影响

陈家超 刘 江

(广东省地震局)

摘 要

本文着重从物质分异的角度讨论了板块俯冲带及大陆地壳内某些地震成因机制问题。认为由于构造的活动和地球自转速度不均匀,在深大断裂带附近的上地幔或玄武岩层顶部容易产生分异的底辟构造。这种构造上隆引起的垂直作用力可促使地面产生同步隆起和侧翼相对下降,地震的震源往往位于底辟构造的侧翼或顶部。一般由底辟构造形成的垂直作用力与水平向区域构造应力场叠加成为一种叠加震源应力场。

关于地震成因机制问题,中外学者进行了许多研究。目前,以断层说最为盛行,如“弹性回跳”及随后提出的“粘滑”说。近年对地震力源方面讨论得较多,但意见不一致。一种认为,力源主要来自地球不均匀自转,当自转角速度发生变化时,可以引起地壳构造某些部位应力集中;另一种则提出,主要来自于地球内部地幔对流,及由此引起的板块俯冲,这样会促使地球内部构造某些部位应力积累,有利于地震孕育。至今还没有深入讨论到震源下部垂直作用力对震源的影响及垂直作用力力源问题。实际上,在许多震例中除有区域水平作用力外,也兼有震源下部垂直作用力,这种垂直作用力与地壳下部及上地幔物质分异有关,并且在地球内部,特别是上地幔是一种普遍现象。

由于存在这种独立的垂直作用力,往往使某些地震震源机制发生变化,或者具有垂直作用力为主的震源机制特点。例如,在大洋中脊上地幔物质分异引起的幔源物质上涌,中央谷地向两侧扩张,产生的一些与垂直作用力有关的浅源地震;在板块俯冲、碰撞带内,有些地震也存在或兼有正断层性质;特别是在大陆裂谷区或其他“穿壳构造”附近,上地幔或地壳下部可能存在由分异作用产生的底辟构造,其上部将出现区域水平作用力和震源垂直作用力迭加的应力场。因此,在这些地区震前一般有环形空区出现,震源破裂面亦兼有倾滑分量或余震倾滑分量增大的特点,说明垂直作用力在震源的作用不能忽视。

本文着重从物质分异的角度,讨论俯冲带及大陆地壳某些地震成因机制问题。

一、物质分异作用引起的震源机制变化

1. 物质分异的物理化学条件

地壳下部、上地幔物质是不均匀的。它在一定条件下可以产生局部熔融，重新分异。实验证明这种分熔现象在有水掺入时大大降低岩石熔融的温度。例如拉斑玄武岩，当水分压 $P_{H_2O} = 1$ 千巴时，温度达到 1090°C 开始熔融，在 1235°C 处于完全熔融状态，而当 $P_{H_2O} = 5$ 千巴，开始熔融的温度下降到 $750\sim 800^\circ\text{C}$ ，完全熔融的温度下降到 1125°C 。辉长岩、云英闪长岩也有类似情况（图1）。在地壳下部和上地幔具有高温、“低压”、富水的物理化学条件，就可能出现局部熔融。

2. 物质分异的构造条件

在地球内部存在一些活动性较强的“穿壳构造”，它的活动往往会造成深部压力突降，有利于含水矿物分解和附近水份（气）及大地热流迁移，所以这些地区大地热流值一般偏高（ $2\sim 8\text{HFU}$ ），温泉出露也比较普遍。在这些地区地下深度 $40\sim 100$ 公里的橄榄岩，深度约20公里的玄武岩、安山岩、流纹岩，以及深度 $15\sim 20$ 公里的花岗岩就可能产生局部熔融。

3. 物质分异引起的应力分布状态

在活动性“穿壳构造”带上，位于莫霍面或康氏面附近，由于构造的活动和地球自转速度不均匀，在这些部位，即上地幔或玄武岩层顶部容易产生分异的底辟构造，这种构造上隆引起的垂直作用力可促使地面产生同步隆起和侧翼相对下降，幅度、宽度大体与底辟构造的范围相当。最大剪切应力的范围是位于底辟构造的侧翼。当应力差超过岩石临界值，岩石将开始破裂，在隆起上方相应产生高角度正断层，而在翼部产生高角度逆冲断层和低角度正断层。若区域构造应力场中间应力轴垂直，上述地区断层可能变成走滑断裂并兼有倾斜分量。所以地震的震源往往位于底辟构造的侧翼顶部。

4. 震源应力场和震源机制特点

在地质和地震上采用了构造应力场和震源应力场两个不同术语，前者系指在一定地区和一定的地质时期内由构造运动产生的应力场，它是相对稳定的；后者是指发震时刻的应力场。新生代以来在我国大陆地壳内，区域构造应力场主压应力轴和主张应力轴多数同在一个水平面上，中间应力轴呈垂直状态。因此，形成的断裂应表现为平推运动。构造应力场与震源应力场一般说来也应一致。但实际上，在许多震例中，无论在野外观测或从震源机制资料得到的水平错动常兼有正断层错动，震源应力场与区域构造应力场也有较大差别。而且在同

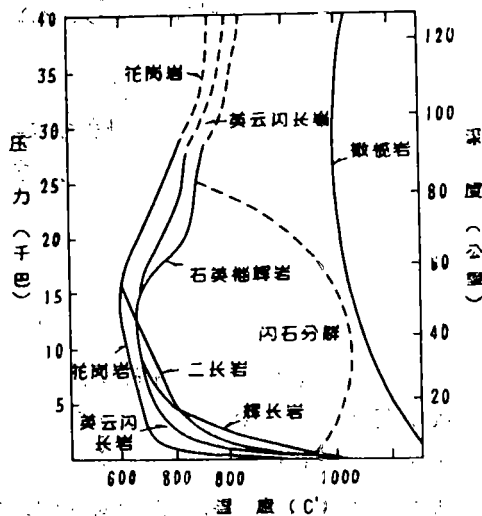


图1 在有超量水的条件下，主要类型的火成岩固相曲线（据P.J.Wyllie）

Fig.1 The solid phase curves of main types of igneous rock with the condition of over-amount water.

一个地区，不同的震例也可有不同。造成这种情况的一部份原因可能是震源体下部存在垂直作用力，它与区域构造应力场迭加成为一种迭加震源应力场。我国大陆地壳浅源地震较多具有这种特点。

二、震 例

1. 日本东部俯冲带地震

这是太平洋板块向亚洲大陆俯冲的地带（过渡地壳），运动速率约9.8厘米/年。由于运动速率比较大，在日本东部俯冲构造的某些部位上，下行岩石圈重力驱动力和可能形成的底辟构造产生的垂直作用力形成迭加应力场，致使下行岩石圈形成压缩和拉张两种不同地段，相应也存在压缩和引张两种不同的震源机制（图2），其震源应力场主压应力轴（P）或主张应力轴（T）一般位于平行下行海洋岩石圈滑动倾向的面上。震源破裂面常与下行岩石圈滑动面斜交。1938年在三陆地区以南于下行海洋岩石圈内发生了三次 $M_s = 7.1-7.7$ 级地震，从震源机制解得知，一次是压缩逆冲型地震，两次是拉张型正断层地震（图3中38、40）属迭加应力场造成。往南进入南流槽和琉球海沟属菲律宾板块俯冲带，吐噶喇海峡以北向日滩以南深度约200公里以上的地段，物质分异强烈，由分异引起的垂直作用力和下行岩石圈拖曳重力迭加的应力场引起的中源地震，都具有T轴平行于下行岩石圈倾斜方向的特点（图3、4中22—28）。

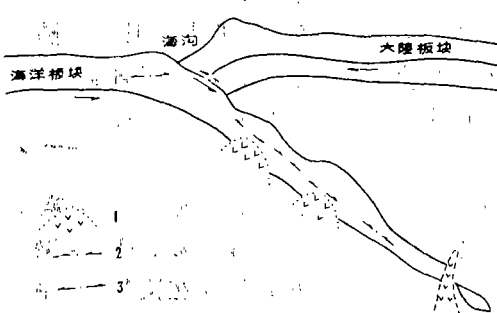


图2 板块俯冲物质分异引起下行岩石圈形成压缩和拉张地段

1. 底辟构造 2. 压缩区 3. 拉张区

Fig. 2 The convergent and tensile segment formed from low-propagating lithosphere caused by differentiation of plate underthrust.

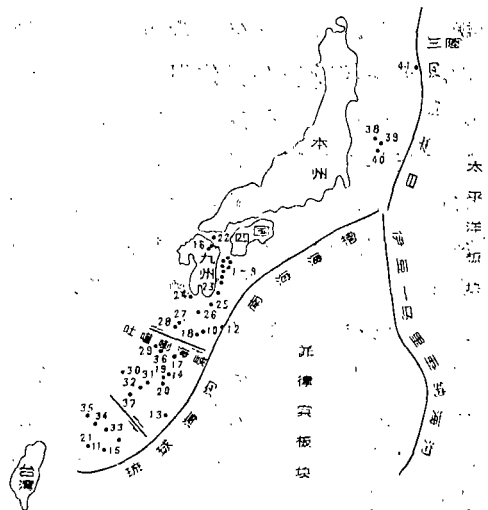


图3 日本东部部份地震分布示意图

（据盐野清治、茂木清夫等人资料，黑点代表地震）

Fig. 3 The distribution of some earthquakes in the east of Japan.

在俯冲带靠大陆一侧于下行岩石圈顶部，由于板块俯冲和物质分熔作用，可能存在水平应力与垂直作用力迭加的应力场，日本九州琉球岛弧火山前沿下面发生的两次正断层地震（图3、4中16、17），可能属这种迭加应力场引张区地震类型。然而，在俯冲海沟靠大洋的一侧，于三陆地区大洋岩石圈内，其下部并没有形成底辟构造的条件，两大板块在那里挤压，只产生水平压应力，随着地壳不断消减，使接近耦合部位附近海洋岩石圈逐渐弯曲，水平主

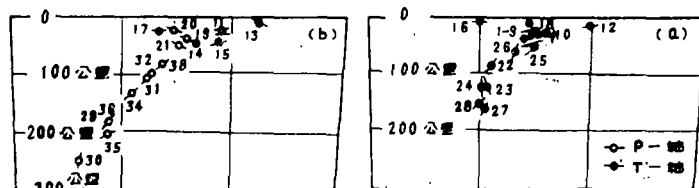


图4 正交于九州—琉球弧的垂直剖面中, 滑动矢量(箭头)、

P轴(空心圆)和T轴(实心圆)的分布

(a) (b) 分别为吐葛喇海峡以北和以南(据盐野清治等)

Fig. 4 The distribution of P and T axes and slipping vectors in the profile orthogonal in Kyushu-Kyukyu arc.

压应力逐渐为主张应力代替。1933年3月2日在这个地区发生的8.3级正断层地震(图3中41), 似乎属没有迭加应力场引张区的地震类型。从震源机制解得知, 这次震源破裂面走向平行海沟, 震前两年, 其西北方向发生了三次深源地震(图3中43、44), 表明大震前海洋岩石圈消减作用加强, 其弯曲形变引起的引张应力也在加大。此外, 在琉球海沟附近也有类似地震(图4、12、13)。

本区俯冲接触面因物质分异作用的不同, 有耦合松紧的差异, 分异物质作用弱的部位耦合较紧, 容易积累应力, 当它超过临界值时, 就可能产生逆冲型板间地震。日本向日滩一带海沟耦合较紧, 那里曾经发生九个板间逆冲型地震(图4a 1—9)。但是, 日本三陆海域的海沟, 因深部物质分异作用, 一部份分熔出来的低熔组分和热流可能沿着接触面上涌和产生同熔, 这样板间部分或全部解缚, 所以在三陆地区未见属于板间的逆冲型地震。

2. 1976年7月28日唐山地震

震中位于沧东断裂带的北延部分, 据物探资料, 它是一条穿过莫霍面进入上地幔的深大断裂带。在唐山地区震前断裂两侧呈现出强烈的差异升降运动, 震源参数表明, 震源断面呈左旋走滑为主兼有正断层倾滑运动, 震后在震中区东侧出现下沉, 同时在滦县和宁河又发生7.1和6.1级余震, 它的正断层倾滑分量较主震有明显增加, 成为斜滑右旋正断层。据秦保燕同志统计, 具有正断层性质的倾滑型余震占余震总数70%, 且多数分布在断裂一侧的下沉区。从唐山区域构造应力场看, 其最大和最小应力轴同在一个水平面上, 中间应力轴垂直, 水平作用力只能产生平推断层或平推—逆冲断层, 实际上它是一条平推为主兼有正断层性质, 因此它只能由水平、垂直作用力迭加的震源应力场产生, 与观测结果相一致。

根据曾融生等同志利用地震探测资料研究, 唐山地下P波速度较北京地区同一深度大0.2公里/秒, 自16公里深度向下延伸到地壳下部, 但在水平方向速度增大的范围很小, 约30—50公里, 唐山地区莫霍面深度约为31公里, 向东倾伏, 且有断裂出现。因此, 他认为唐山地区的地壳具有局部速度连续偏大, 莫霍界面隆起和断裂的特征, 这些特征与板块产生大面积水平挤压力的解释不相符, 提出只有用幔源岩浆上升才能解释这种现象。

从朱岳清同志进行唐山重力反演得出的莫霍界面变化等值线图看出(图5、6), 唐山地区上地幔M界面附近存在隆起的底辟构造, 这个构造在唐山地震前后经历了复杂的变化, 其中1970—1976年间幔源物质上涌速度为25厘米/年, 1970—1980年为9厘米/年, 117°E以东地区震前幔源物质涌入地壳达25K³, 震后三年涌入1K³, 十年间盈亏相抵, 实际涌

入 16Km^3 。此外,据大地电磁测深资料,震中区深度15—20公里存在高导层(低速层)。地震勘探资料反映,康氏和莫霍界面均有明显隆起,说明唐山地震孕育时垂直作用力作用和迭加震源应力场的存在。

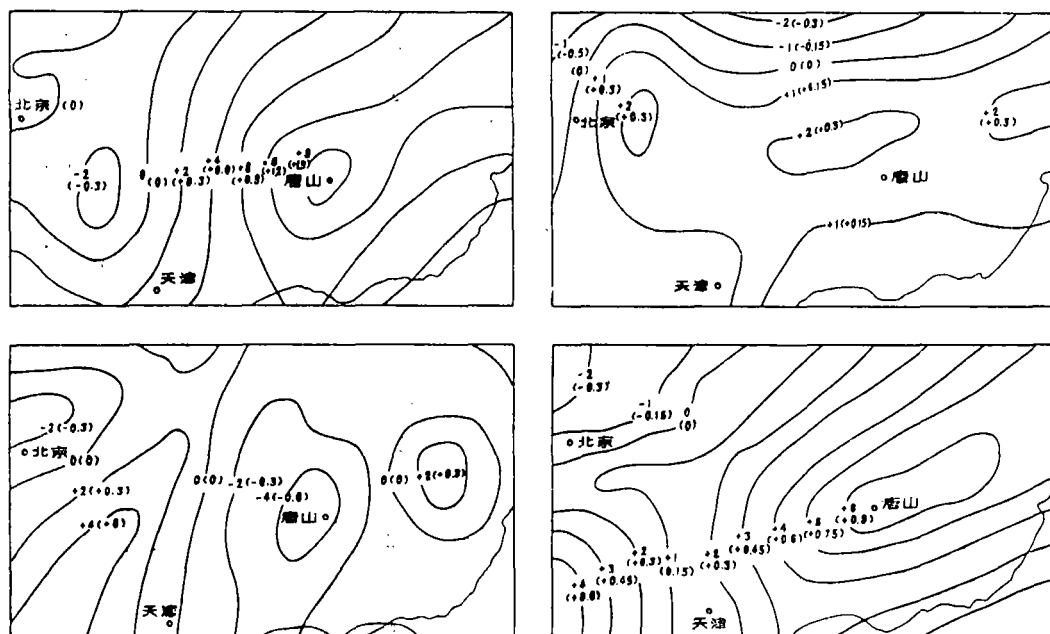


图5 唐山地区莫霍界面变化等值线图(据朱岳清)

a. 1970年上半年至1976年上半年 b. 1976年上半年至1977年上半年

c. 1977年至1980年 d. 1970年至1980年

图中数字为视深度变化,括号内数字为实际抬升高度

Fig. 5 The isorith of variation of Moho in Tangshan.

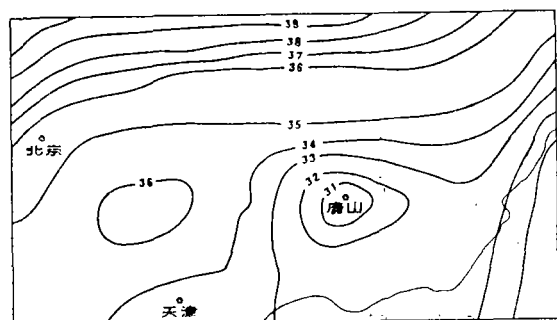


图6 唐山地区莫霍界面等深度图
(据朱岳清)

Fig. 6 The isobathye map Moho in Tangshan.

3. 新丰江水库地震

库区自1962年3月6.1级地震发生后,余震活动很频繁,且衰减速度很慢,至今仍有许多弱震。对于这一地区地震,人们提出了水库诱发和转换应力场的成因解释,从不同侧面讨论了震源区地震成因机制问题。

本区处在北东向邹武—河源断裂构造部位上,地震密集在这条构造侧旁的北西西向次级断裂上。从基性、超基性岩、重熔或同熔花岗岩沿主断裂分布及断裂热力变质带出现等,北东向断裂不仅是一条“穿壳构造”,而且沿这条构造带,上地幔和地壳内部确实

存在过剧烈的物质分异作用。在震源区出现的所谓构造岩,实质上是由多期分异的低温热液石英细脉组成。

目前对这地区还没有开展大量深部探测工作,对其深部情况还不太了解。但据新构造期

地质和现今的水准测量资料,这个地区垂直运动比较明显。一般震前地表呈现出隆起,震后出现下沉,如1967年1月26日4.2级地震,震前新丰江地区上升了0.71—1.65毫米/月,震后下沉0.27—1.13毫米/月,这种情况用库区水体负荷或水沿断裂浸透引起断裂滑动造成难于解释,可能与上地幔或地壳分异产生的底辟构造隆起有关。

从新丰江震源机制资料得知,震源应力场与区域构造应力场是不一致的。魏柏林同志整理震源机制资料得出P轴在垂直T轴面上呈0—180°旋转。75%的余震具有倾滑型正断层性质。我们所作的21个震源参数(附表),也有类似特点。这种变化与地震发生在隆起区不同部位有关。因此,新丰江地震除有水库的诱发或转换应力场作用外,可能还有震源体下部垂直作用力与区域水平作用力迭加的成因机制。

新丰江震源机制参数表

编号	年	月	日	震中位置		震级	A			B			X		Y		P		T		N		备注
				ϕ	λ		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1	1973	3	11	23°43'	114°40'	3.0	50	SE	30	27	NW	59	299	30	137	58	270	72	125	15	33	10	
2	1974	3	1	23°44'	114°38'	3.1	53	SE	65	70	NW	25	340	64	142	24	122	60	329	20	236	8	
3	1974	3	28	23°42'	114°39'	3.0	0	E	45	360	W	45	270	45	90	45	直立	90	90	0	0	0	
4	1974	6	27	23°45'	114°38'	3.0	56	SW	5	57	NW	85	327	4	148	85	147	40	327	45	56	0	
5	1974	8	16	23°42'	114°41'	3.0	112	SSW	54	66	NW	47	334	43	201	36	257	64	358	4	91	25	
6	1974	10	16	23°45'	114°38'	3.0	99	NNE	5	99	SSW	33	190	84	10	5	190	52	10	38	99	0	
7	1975	2	6	23°46'	114°38'	3.0	90	S	12	331	NE	85	50	6	187	89	70	52	232	37	330	10	
8	1975	5	8	23°45'	114°38'	3.2	114	SW	20	114	NE	70	24	20	204	70	24	66	204	25	294	0	
9	1975	7	25	23°44'	114°38'	4.3	90	S	20	90	N	70	0	20	180	70	0	66	180	25	90	0	
10	1976	2	22	23°54'	114°36'	3.6	110	SW	12	147	NE	82	60	9	195	82	68	52	233	37	327	7	
11	1976	7	17	23°52'	114°28'	2.7	0	直立	90	90	直立	90	0	0	90	0	135	0	45	0	直立	90	
12	1976	7	17	23°52'	114°29'	3.2	0	直立	90	90	直立	90	0	0	90	0	135	0	45	0	直立	90	
13							0	直立	90	90	直立	90	0	0	90	0	135	0	45	0	直立	90	
14	1977	1	18	23°52'	114°29'	3.1	84	直立	90	354	直立	90	84	0	354	0	129	0	39	0	直立	90	
15	1977	5	12	23°44'	114°38'	4.7	173	直立	90	82	NNW	65	352	25	82	0	304	13	40	17	173	65	
16	1978	9	2	23°46'	114°37'	3.3	0	直立	90	90	直立	90	0	0	90	0	135	0	45	0	直立	90	
17	1981	5	4	23°43'	114°42'	4.3	81	SSE	81	155	NEE	25	61	65	171	8	145	47	9	33	265	24	
18	1981	5	4	23°43'	114°41'	2.7	90	S	55	90	N	35	0	55	180	35	180	80	0	10	90	0	
19	1981	6	8	23°43'	114°41'	3.4	53	SE	20	53	NW	70	325	19	145	71	146	20	326	64	53	0	
20	1981	8	17	23°44'	114°42'	3.0	111	SSW	55	144	NW	42	52	48	192	33	138	68	28	7	297	22	
21	1982	4	1	23°43'	114°41'	2.8	172	NEE	75	80	NNW	85	351	6	83	15	128	5	35	15	237	73	

(本文1984年3月10日收到)

THE INFLUENCE OF THE DIFFERENTIATION OF THE UPPER
MANTLE AND THE LOWER PART OF CRUST ON THE
EARTHQUAKE MECHANISM

Chen Jiachao Liu Jiang
(*Seismological Bureau of Guangdong*)

Abstract

This paper accents the influence of the differentiation of plate subduction zone and the interior of crust on earthquake mechanism. It holds that because of structure motion and the heterogeneity of the earth rotation velocity, the different diapire structure is apt to be formed at the top of basalt or the upper mantle near abyssal faults. The vertical force caused by such an uplift can make ground surface form synchronous rise and lateral fall, and epicenter is often considered to lie in the sides or at the top of diapire structure. A superimposed epicenter stress field is made of the superimposition of the horizontal structure stress field and the vertical force of diapire structure.