

21-27

p 315.2

火山与地震的共性特征及有关问题讨论

p 317.3

刘武英

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 对火山与地震及其伴随现象进行了对比分析, 发现二者除外在形式不同外, 在分布范围、深部构造及其它方面具有明显的共性特征. 讨论了火山与地震具有共性特征的原因, 认为它们都与岩浆活动有关. 因此, 内陆地震的发生有可能是地壳内岩浆上涌的直接结果.

关键词 火山, 岩浆冲动成因, 岩浆活动, 侵入作用, 地震, 共性特征

1 引言

作者在文献[1]~[4]中讨论了地壳内岩浆上涌与地震活动的关系, 认为地震本身是自成系统的, 地震及其伴随现象是相互联系, 共出一因的. 这个原因就是地壳内的岩浆上涌. 地球上的岩浆活动分为两类. 一类为喷出活动, 即火山喷发; 一类为侵入活动, 地壳内分布的大小岩体是岩浆侵入活动的结果. 虽然两者活动类型不同, 但实质上都是岩浆上涌. 因此, 伴随两类岩浆活动所产生的物理、化学及其它方面的变化应该是相同的. 如果地震的发生与地壳内的岩浆上涌有关, 那么伴随地震发生的现象必然与伴随火山活动发生的现象相同. 在本文中, 作者研究了火山与地震的共性特征, 进而对岩浆活动与地震的关系进行进一步的讨论.

2 火山与地震的共性特征

(1) 在全球范围内, 火山与地震的分布范围是一致的. 大致分布在环太平洋带、阿尔卑斯山~喜马拉雅带(地中海带)、大洋中部破裂带及东非地堑带.

(2) 火山与地震的活动都与强烈的构造运动有关. 无论火山喷发还是地震活动, 都是地壳运动的具体的、真实的反映. 各个地质时期的火山活动都与强烈的构造运动相伴随. 而构造活动强烈的地带往往也是地震易于发生的场所.

(3) 一座活火山, 它的喷发并不是无休止的. 每次喷发持续一段时间即停止, 间隔一定时间后再次喷发, 显现出一定的周期性. 在地壳内同一地点可以发生多次岩浆上涌, 形成属于不同时期的岩体^①, 说明地壳内岩浆上涌同样具有周期性. 人们发现, 地震活动在同一构造带或在原地也具有其周期性或重复发生的现象.

(4) 火山喷发前, 随着岩浆的上涌地面隆起, 地表出现张裂缝, 山崩等现象也有发生. 地震活动及地下轰鸣等现象很普遍. 此外, 还发现井水位明显升高或降低, 泉水增减或枯竭等^{①, [5]}.

本文1997年8月12日收到.

作者简介: 刘武英, 女, 1947年1月生, 副编审, 现负责《西北地震学报》的编辑出版工作.

① 北京地质学院普通地质教研室. 普通地质学. 1963. 219, 225~247.

这些现象在地震前均有出现。

(5) 火山喷发前后, 由于岩浆的高温使火山附近地区加热, 从而使地温增高, 地下水温度升高, 因而出现温泉或泉水温度升高的现象。另外还有积雪融化、泉水化为蒸气等现象^①。

与火山活动有关的温泉成因有两种, 一种是由于岩浆的高温使火山附近地区加热, 地下水温度升高, 这些地下水流出地面即形成温泉; 另一种是岩浆中放出的水蒸汽在上升过程中逐渐冷凝而成热水, 这种水涌出地面形成新的温泉^①。

地震前地温增高及泉水温度增高的现象很普遍, 而且也有“地裂出温泉”的报道。1975年海城地震发生在冬季, 地震前出现了土壤解冻及积雪融化现象。

(6) 临近火山喷发时, 从地面裂隙中或旧火山口中冒出气体, 随着气体的越来越多, 逐渐形成烟柱, 随即有地下轰鸣声或地震出现, 地面裂口增大, 火山猛烈爆发^①。烟柱一般分为两类, 一类是由水蒸汽组成的白色蒸汽, 另一类是由水蒸汽和其它物质组成的黑灰色气体。在火山的气体喷发物中水汽占60%~90%, 其它成分有 H_2S , SO_2 , CO_2 , HF , HCl , Cl_2 , CO , H_2 , N_2 , $NaCl$, NH_4Cl 等。从火山喷出的气体中常凝华出硫磺、钠盐、钾盐等有用物质^[5]。1980年圣海伦斯火山喷发时, 释放的主要气体组分为 CO_2 , CO , CH_4 , SO_2 , H_2S 及 N_2 等^[6]。

由于含硫气体有特殊的气味, 因此, 有强烈的硫磺味是岩浆气体的特征之一。岩浆气体中的 Cl_2 有刺激性气味并呈黄绿色, 而且有毒。 CO , N_2 , CO_2 , SO_2 , H_2S , HCl 等均为有毒气体。

在岩浆上涌过程中上述气体不断逸出, 若溶于水中则可使地下水、泉水中上述物质组分浓度增高。在火山活动地区, 如我国腾冲火山区, 由于岩浆的活动使得该地区地温很高, 甚至可煮饭。在该地区还分布有众多的热海、沸泉, 泉水中 CO_2 , SO_2 , H_2S , Rn 等气体组分含量很高, 同时还含有来自地下深部的微量元素。

我国近年来发生的一些地震, 如1975年海城地震、1976年松潘地震、唐山地震、龙陵地震等, 震前都出现黑雾、怪雾或喷出黑色或白色地气, 而且气体温热、湿润, 表明其中含有大量水汽。松潘地震前喷出的气体温度达 $80^{\circ}\sim 120^{\circ}C$, 并将植物叶子烧焦。据史料记载, 我国境内发生的一些大震多有“气冲上天, 火不可照”“冲天吐气, 黑气盈日”“黑风, 气上腾”“白气冲天”等现象^[7]。大震前后人们普遍闻到强烈的硫磺味, 表明有大量的含硫气体喷出。海城地震前有人闻到怪味感到头晕, 恶心, 心闷不舒, 甚至休克; 松潘地震前四川省彭县7口井中冒出的气体致使人畜死亡, 说明气体是有毒的。经化验, 彭县的几口井中 CO_2 、 N_2 含量很高。

地震前后观测到的地下水中溶解气体组分有 CO_2 , H_2 , H_2S , Rn 等, 此外还观测到地下水中 Cl^- 浓度增大。

火山喷发后相当长时间内火山口及周围地面还不断有气体冒出。地震发生后由于地壳内及地表裂隙发育, 大量的气体冒出或喷出, 而且持续时间也较长。

(7) 1994年台湾海峡7.3级地震前及日本的九州岛云仙岳火山以及菲律宾皮那图博火山喷发前都出现大面积突发性放气现象。而且低空大气卫星热红外资料显示, 地震发生前及火山喷发前均出现大面积的突发性增温异常区。整个增温异常区的温度比周围地区高 $3.5\sim 4^{\circ}C$ 左右^[8]。

(8) 火山喷发前的重力变化表现为重力测值上升。1980年圣海伦斯火山爆发主要发生在山体北坡。火山爆发前虽然山体出现抬升、拱起, 但是位于山体东侧的测站重力值却增加了 $30\mu gal$ ^[6]。我国唐山、海城及松潘等地震前震中区及附近地面隆起, 重力测值也出现大幅度的正异常。

火山喷发前和地震发生前局部地磁场均发生变化。在1980年圣海伦斯火山的三次主要喷

发期内,距火山口 5 km 处的磁力仪观测到了 10 nT 左右的变化^[6]。唐山地震前,震中区附近的昌黎、宁河和宝坻三个台地磁垂直分量 Z 的变化与其他地区台站相比存在明显差异,多数台站变化很小,仅有 1 ~ 3 nT,但上述三个台站 Z 的变化非常显著, ΔZ 分别为 7.2, 6.0, 6.1 nT^[9]。松潘地震前,松潘台 ΔZ 从 1973 年开始就出现长趋势上升变化^[10]。

(9) 火山喷发过程中,有时由于火山附近的空气受高温的影响,以及从火山放入大气中的大量水蒸汽的骤然冷却常有暴雨、雷电现象相伴生^①。^[5]

在我国有关震前起风,地震前后“雷雨大作”的记载十分丰富。如 1848 年 8 月 31 日广东香山地震时“飓风,风过有声如雷,地震”,1955 年 4 月 14 日四川康定 7 $\frac{1}{2}$ 级地震“当天大雨阵风,震后雷电”,1969 年 7 月 18 日渤海 7.4 级地震“前一日山东沿海雷雨,闪电,大风”,1970 年 1 月 5 日云南通海 7.7 级地震后“七日内三次冰雹”。在冬季发生的地震则出现降雪。如 1973 年 2 月 6 日四川炉霍 7.6 级地震“震区周围 200 km 范围内降雪”,1969 年 2 月 12 日新疆乌什 6.5 级地震“震前一日和当日有小雪”,1951 年 12 月 27 日甘肃肃北 6 级地震“震时天阴,震后当晚下雪”等等^[11]。此外,1975 年海城地震前空气潮湿并出现降雪,1976 年松潘地震及唐山地震前出现冰雹云,震后大雨滂沱。

(10) 在活火山地区的深部,地壳和上地幔中存在 P 波低速区。壳内大地震的震区深部地壳上地幔中也存在 P 波低速区^{[12][13]}。

3 讨论

根据上述对比分析可以认为,火山与地震在分布范围、深部构造特征及伴随现象等方面存在明显的共性特征,这说明火山与地震可能是由同一种原因引起的,而且它们的伴随现象是共出一因的。火山喷发明显是岩浆活动的结果,因此,地震的发生同样可能也与岩浆活动有关。只是火山喷发时岩浆溢出地表,地震时岩浆没有溢出地表。关于地壳内岩浆活动在地震过程中的作用,作者已在文献[1]~[4]中进行了初步讨论,在此不再赘述。

有的火山喷发时爆炸很猛烈,可以将原有的山头炸去,说明岩浆活动的动力是非常巨大的。由此可以推测,地壳内的岩浆上涌不可能平平静静地发生,其强大动力必然会以某种方式表现出来。

地下深处的岩浆活动是复杂的,在同一地点可以发生多次岩浆活动,形成属于不同时期的岩体,甚至后形成的穿插在老的侵入体内^①。岩浆在地壳内冷凝后形成完整的刚性块体,地壳内没有足够的风化条件,岩体本身没有裂缝,后期岩浆上涌时必须冲破老的侵入岩体,侵入到老的岩体的裂隙中才能形成新岩体穿插进入老侵入岩体的现象。由此说明,地壳内的岩浆上涌同样具有巨大的动力。

另外,地壳内的侵入岩体有的相当大,面积达 100 km² 以上^①。岩浆的密度大,这样大规模的岩浆上涌并在地壳内冷凝下来,需要有相当大的空间。在上覆岩层的静压力和强大的围压作用下,地壳内没有足够的空间,岩浆必定要冲破上覆地壳以获得空间。地壳破裂必然发生地震。1975 年海城地震、1976 年唐山地震及松潘地震前其震源区及附近地壳内都发生过岩浆上涌^{[2][13][14][15]}。

有学者对斑岩铜矿床进行了研究,发现斑岩铜矿床中脉体十分丰富。在斑岩体顶部脉体最发育,其整体上以斑岩体为中心呈对称分布。脉体的走向总体上围绕斑岩体呈同心环状和放射状分布,这是成矿流体充填到裂隙中而形成的^[16]。同心环状和放射状裂隙的分布反映了岩浆

上涌的爆炸机制。

1961年6月12日,在腾冲的玉碧火山西侧的玉壁村附近发生一次5.8级地震。调查结果表明,虽然在震中附近有一条断裂通过,但地震的等烈度线方向性并不明显(图1)^[5]。而且这次地震所产生的地裂缝呈环状围绕着震中分布。这次地震所产生的地裂缝的分布状况与上述斑岩体顶部的裂缝十分相似。由此可见,该次地震的发生与地下岩浆的冲击有关。因此地壳内岩浆上涌引发地震是可能的。该次地震的地壳破裂类型似应属于完整介质破裂。近年来在我国发生的多次地震中,属于完整介质破裂的还有1974年永善-大关地震等。

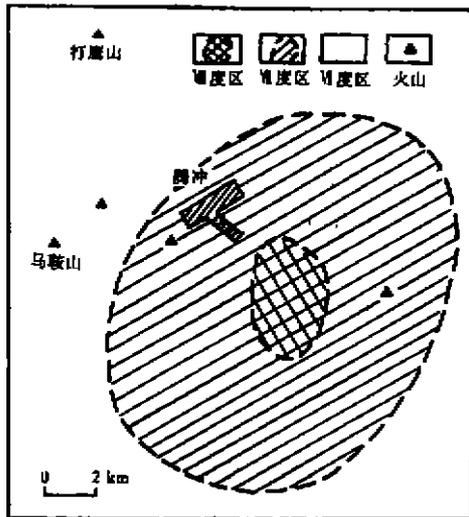


图1 1961年6月12日腾冲地震等烈度线图^[5]

Fig. 1 Isoseismal map of the Tengchong earthquake on June 12, 1961.

对于地震前后气体的大量喷出,可以用岩石中矿物的化学反应、放射性元素衰变及地下贮存的气体释放来解释。但是,地震前后所释放的气体浓度远比化学反应或放射性元素衰变所能供应的量要大,喷气持续时间及喷出的强度也不是用上述原因所能解释的。

唐山地震前后地下水中溶解气体及地下气体异常大致同步,异常形态也相似^[17],海城地震和松潘地震前后两类异常也呈同步变化^[10,14],说明它们可能出自同一种原因。

根据几种气体组分同时出现,而且浓度均相当高的现象可以推测,在地下深处有一个总的供气源。唐山地震期间,一些浅井喷气的强度特别大,如万泉庄浅井喷气高峰时喷出的水气柱高达2.5 m,井口气流速度达38 m/s,声响达94分贝,表明地下深处存在强大的向上的压力,促使气体猛烈喷出。

由前面的对比分析可以看出,目前观测到的地震过程中出现的气体都是火山气态喷发物中含量较多的组分。地震前后地下水中溶解气体组分与火山活动地区地下热水中的气体组分一致。地震前后硫磺气的大量溢出是一种普遍现象。发生于不同时间、地点及不同构造条件下的多次地震共同出现的这一现象难以统一用化学反应来解释。根据前面的讨论可以认为,硫磺气的溢出是岩浆活动的明显特征之一。因此,地震前后在震中区及附近地区地壳内发生岩浆上涌的情况是可能的。火山气体喷发物中有许多氯化物,因此,地震过程中地下水中氯离子浓度增高与岩浆活动有关。岩浆气体中还含有惰性气体^①,其中的氦可以随其它气体一起冒出地表,也可以溶于水中,使得地下水中氦浓度增高。

日本学者研究发现,在活火山的正下方低速带从上地壳到楔形地幔100~150 km深度范围内连续分布,其厚度大约为50 km。这些低速带可能反映的是岩浆从地幔较深部分向地球表面上升的通道。沿此通道还发现了深部岩浆活动的迹象。另外还发现火山口的下方中上地壳内存在P波速度慢异常区,表明有岩浆体存在^[18]。

由于在地震过程中震源区及其附近地壳内发生过岩浆上涌,因此在大震区地壳上地幔中也存在P波低速异常区。由于岩浆在地壳内冷凝缓慢,因此,大震后相当长时间内异常区仍然存在。

刘昌铨等的研究表明,唐山地震区地壳内存在低速层和低速异常区,上地幔内也存在低速

度层,见图2^[13].从图2中可以看出,孕震区位于上中下层地壳内明显的相对低速度异常区内.震源区的深部下地壳内也是低速度异常区^[13].在唐山地区莫霍面存在一局部上隆区.上隆区顶面埋深为31 km,见图3(朱岳清,1984).

对比图2和图3可以认为,岩浆源在莫霍面以下.在地幔物质上隆过程中,深部岩浆沿裂隙上升,涌入地壳内.

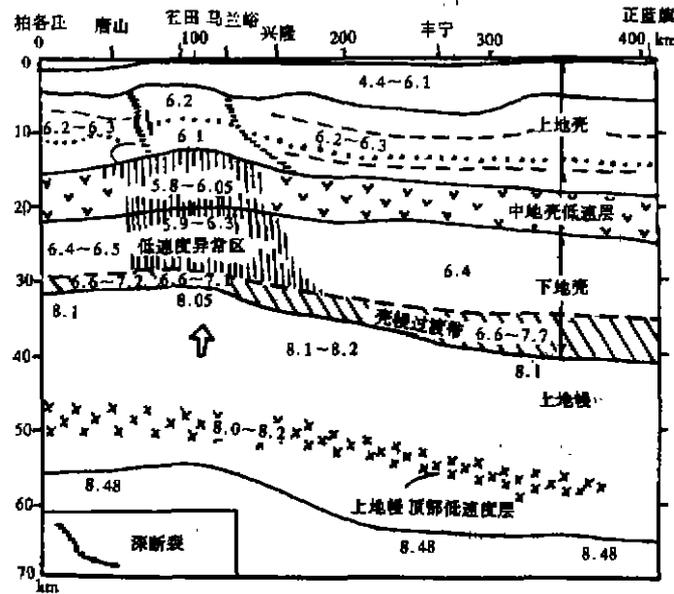


图2 唐山地震与地壳上地幔结构的关系^[13]

Fig. 2 Relation between the Tangshan earthquake and crustal and mantle structure.

200°C,见图4.再结合该层有较高的热产生率值,推测这里可能有部分熔融的残留体存在^[15].同样在该区深部也存在莫霍面局部上隆区,见图5^[14].

从上述资料可以看出,在地震过程中岩浆从地幔深处上升,涌入地壳内.

火山与地震的分布范围一致,说明沿环太平洋带、阿尔卑斯山~喜马拉雅带和洋中部断裂带岩浆活动是强烈的.

实际上火山与地震相继发生的情况并不少见.如1970年9月日本秋田的驹岳火山喷发后,同年10月在秋田县的东南部发生地震.1960年5月21日智利中南部发生8.9级大地震,主震后47小时,距震中约300 km的普惠火山在静止了55年后开始大爆发^[5].说明火山与地震是有成因联系的.根据本文的讨论,这是岩浆在一定范围内活动的结果.另外,火山多的地区地震也多,如智利和日本.还有的火山喷发同时呈现火山与地震两种特征,如1943年2月20日,位于墨西哥首都墨西哥城以西约320 km的帕里库廷镇,一个农民正在地里劳动,突然大地震动并伴随着雷鸣般的巨响,浓厚的烟尘随即从田野的裂缝中滚滚而出.一天以后,喷出的火山物质已高12 m并开始喷

华北地区的岩浆活动史显示,始新世玄武岩呈裂隙式喷发,第四纪呈中心式喷发.全新世和现代玄武岩分布很局限,表明玄武岩岩浆活动方式由小范围的喷出转为在深部上涌.岩浆源的深度达100~150 km.唐山、马坊等地玄武岩层局部加厚^[17],说明在唐山地区发生过多地岩浆活动.华北地区和唐山地区的岩浆活动情况还表明,一个地区的火山活动停止并不意味着该地区岩浆活动就停止了,而是还会发生多次岩浆活动,即岩浆沿深部上涌.

海城地震区的情况与唐山地震区相似.其壳内低速层具有较高的温度值(500~640°C),比两侧同一深度上的温度值高出130~

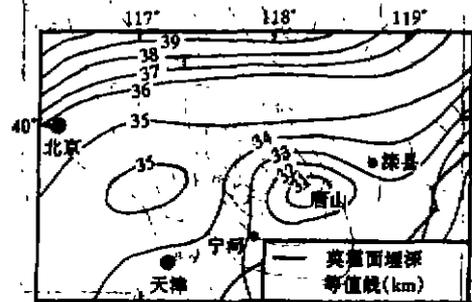


图3 唐山地区莫霍面上隆区示意图 (据朱岳清,1984)

Fig. 3 Sketch of uplift on the Moho surface in Tangshan area.

出岩浆:最后形成 650 m 高的火山锥;从这次火山喷发的过程可以看出,在岩浆没有喷出地表以前表现出了地震活动的特征.这些现象均表明了火山与地震的同源性.

4 结语

由于对火山的观测较为困难,其观测资料不如地震的观测资料丰富.在对比过程中对各类现象不可能一一涉及,但是,根据作者的研究,除了本文上述讨论的现象之外,伴随地震出现的诸如地光、气象异常、波速比异常等等都是与岩浆活动有关的.详见文献[2]和[4].

根据本文的讨论可以认为,火山与地震都是岩浆活动的结果.火山喷发时岩浆上涌并溢出地表,引发地震的岩浆活动没有溢出地表,而是在冲破地壳后,在一定深度停留下来,冷

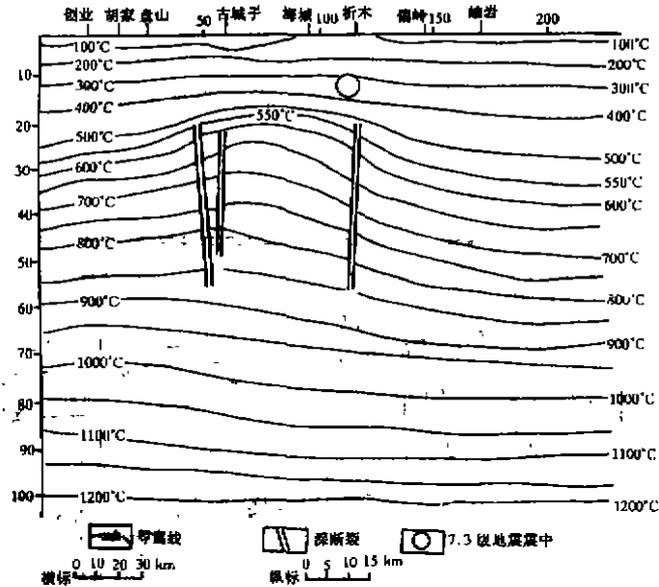


图4 阌阳-海城-东沟剖面地壳与上地幔温度结构图^[15]

Fig. 4 Temperature structure of crust and upper mantle in Luoyang-Haicheng-Donggou section.

凝后形成侵入岩体.当地壳深处再次发生岩浆上涌时,地壳又会重新破裂,地震将再次发生,而且又会形成新的岩体.所以大地震一般发生在刚性介质中,并且有原地重复发生的现象.

许多矿床的形成都与岩浆活动有关,因此,地震发生后在震源区及其附近将会形成一些矿床;近年来有不少关于地震与矿床有关的报道.

换一个角度,本文的讨论还涉及到岩浆作用的问题.地壳内大规模的岩浆上涌不仅引起一些物理化学变化,同时还导致了地震的发生.

岩浆活动是复杂的.在同一地点不同时期形成的侵入岩体它们的岩石类型可以是相同的或相似的,也可以是不同的.有的侵入岩体很大,也有的侵入岩体较小,说明不同时期上涌的岩浆的规模也不同.火山喷发时有的为中心式喷发;有的为裂隙式喷发;有的气体多,爆炸猛烈;有的气体少,喷发宁静.因此,关于岩浆活动与地震的关系还有许多问题需要进一步研究.

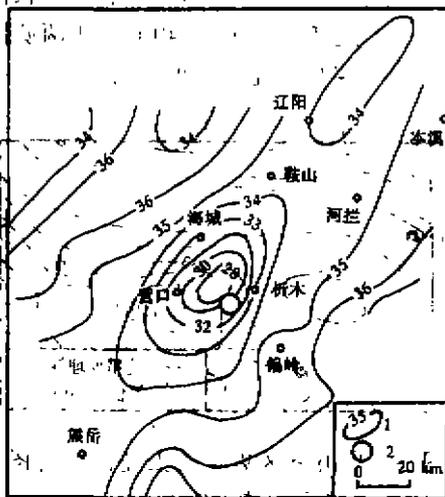


图5 海城及邻近地区地壳厚度略图^[14]

Fig. 5 Sketch of crustal thickness in Haicheng

and its neighboring areas.

1 地壳厚度等深线(单位:km); 2 7.3级地震震中

参考文献

- 1 刘武英,李龙海.唐山地震与海城地震之共性特征及有关问题的讨论.地震研究,1995,18(2):161~167.
- 2 刘武英,等.关于1976年松潘地震成因的讨论.华北地震科学,1996,14(2):16~21.
- 3 刘武英,等.从地球化学的观点讨论1976年唐山7.8级地震的成因.地质地球化学,1996,(5):66~69.
- 4 刘武英,等.关于岩浆活动在地震过程中的作用讨论.地质地球化学,1997,(3):87~93.
- 5 张虎男.火山.北京:地震出版社,1986.2,11~21,44,166~167.
- 6 李普曼 P W,马林内克斯 D R.1980年圣海伦斯火山喷发.南京地质矿产研究所译.北京:地质出版社,1986.21~28.
- 7 安徽省地震局.宏观异常与地震.北京:地震出版社,1978:155~158.
- 8 孔令昌,强祖基.地壳突发性放气与灾害事件的研究.西北地震学报,1996,18(4):42~46.
- 9 祁贵仲,等.渤海地区地磁短周期变化异常、上地幔高导层的分布及其与唐山地震的关系.中国科学,1981,(7):869~879.
- 10 四川省地震局.一九七六年松潘地震.北京:地震出版社,1979.12.
- 11 兰州地震大队气象地震组.气象与地震.北京:地震出版社,1976.11~19.
- 12 长谷川 昭,等.由地震观测得到的火山弧深部构造.赵文星译.地质科技情报,1994,(9):9~12.
- 13 刘昌铨,等.唐山地震区地壳上地幔结构特征——二维非均匀介质中理论地震图计算的结果分析.地震学报,1986,8(4):341~353.
- 14 朱凤鸣,等.一九七五年海城地震.北京:地震出版社,1982.167,176.
- 15 卢造勋,等.中国辽南地区地壳与上地幔介质的横向不均匀性与海城7.3级地震.地震学报,1990,12(4):367~378.
- 16 高合明.斑岩铜矿床研究综述.地球科学进展,1995,10(1):40~46.
- 17 国家地震局(一九七六年唐山地震)编辑部.一九七六年唐山地震.北京:地震出版社,1982:293,407.
- 18 长谷川 昭,赵大腾.由地震观测推断的岛弧岩浆区深部结构.地震科技情报,1994,(9):1~8.

A DISCUSSION ON COMMON CHARACTERISTICS BETWEEN VOLCANO
AND EARTHQUAKE AND PROBLEMS CONCERNED

LIU Wuying

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000)

Abstract

Phenomena of volcano and phenomena of earthquake are analysed comparatively. The result shows that there are obvious common characteristics in distribution range, deep structure and other aspects except exterior state between volcano and earthquake. The author considers it is because volcano and earthquake all have relation to magma activity through study and it is possible that earthquake results from magma intrusion in crust directly.

Key words Volcano, Magma impulsive origin, Magma activity, Intrusion process