

地壳内岩石的化学组成与地震成因 之间关系的探讨

翟文杰

(辽宁省地震局)

摘 要

本文从岩石的物理化学性质方面讨论了地壳内含量较少的基性、超基性岩对地震孕育的作用, 通过理论上的探讨并与实际情况对比, 分析了各类岩石的粘度特性, 建立了一个确定构造运动粘滑或蠕滑的地面参考指标。

一、问题的提出

地震的成因除了与外界构造运动直接相关外, 也与地壳内岩石的介质特性有关。岩石内部结构不同, 其宏观力学特性也就不同, 而其内部结构形式又取决于它的化学组成。文献〔1〕研究了岩石内的 SiO_2 含量与地震发生的关系, 文献〔2〕阐明了在外界条件都相同的前提下, 花岗岩的孕震能力要比玄武岩高, 认为花岗岩层是我国浅源大震的孕震层。本文通过地表所见的喷出岩的分布形式来反演地下情况, 研究讨论地壳内基性、超基性岩对地震孕育的作用。

二、地壳内几种主要造岩元素的地球化学行为及由此而决定的介质特性

一般认为大陆地壳是由上地壳(花岗岩层)和下地壳(玄武岩层)构成的, 其壳内的化学成份及岩性特征分别如表1及图1所示。

地壳内的岩石是由高温粘稠的岩浆凝固而成的。岩浆内含有O、Si、Al、Fe、Ca、Mg、Na、K等多种元素, 其中O的含量最高, 占地壳总成份的47%左右, 其次是Si, 约占

表1

大陆花岗岩层与玄武岩层化学成分表

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
花岗岩层	63.94	0.57	15.18	2.00	2.86	0.10	2.21	3.98	3.06	3.29	0.20
玄武岩层	58.23	0.90	15.49	2.86	4.78	0.19	3.85	6.05	3.10	2.58	0.30

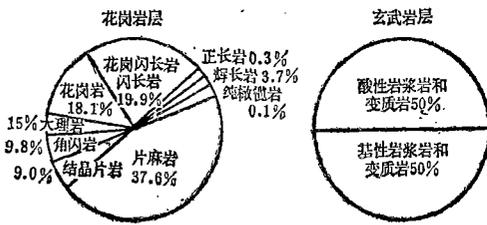


图 1 大陆地壳的岩石成分及体积
Fig.1 Compositions and content of rock in continental crust

27.5%左右。由于各元素的化学性质不同,其相结合的形式也就不一样,其中最基本的结构形式是 $[\text{SiO}_4]^{4-}$,但由于岩浆内Si与O的含量不是1:4,因而 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 通过共用角顶氧的形式而呈不同形式的连接,形成形状不同的络阴离子团。Fe、Mg、Ca、Na、K等元素在岩浆内部的存在无固定的形式,一般是穿插于 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 之间,与O呈离子键结合。在 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 内部Si与O之间通过 SP^3 杂化轨道而呈共价键结合。Al则有两种配位形式,一是取代Si的位置,起Si元素所起的作用,二是穿插有 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 之间,起金属阳离子作用。

一般元素呈共价键结合时,其形成物结构比较牢固。在络阴离子团内部各元素之间都是呈共价键连接的,那么络阴离子团越复杂,其各元素间相互的作用就越紧密,因而可以认为络阴离子团的复杂程度就决定了岩浆自身粘度的高低。文献[4]分析认为,岩浆内络阴离子团的形式由其化学成份含量的多少而定。当岩浆内 SiO_2 及 Al_2O_3 含量较少时,尤其是 SiO_2 含量较少的情况下,其内部络阴离子团多以岛状、链状的形式出现。当 SiO_2 含量逐渐增高时,络阴离子团也就逐渐变得复杂,其变化的顺序是:岛状→链状→层状→架状。从而可以认为,架状结构的络阴离子团含量较高时,岩浆的粘度也就高;而若岛状络阴离子团含量较多时,岩浆的粘度也就相对较低。Flint对岩浆的粘度与 SiO_2 含量之间的关系做过系统的研究[5],结果见图2。从图中可以看出, SiO_2 含量每变化10%,其粘度要大约变化3个数量级。T.P.Poole[6]对硅酸盐玻璃粘度进行了测试,并给出公式

$$\text{Log}\eta = a + b \times 10^8 T \quad (1)$$

式中 η 表示粘度, T为绝对温度, a、b为常数,由实验直接测得,结果见表2。由表2可以看出,当 SiO_2 、 Al_2O_3 、CaO的含量增加时,其粘度增高,且 SiO_2 的作用最显著; MgO、 Na_2O 、 K_2O 等成份增加则其粘度降低。由于硅酸盐玻璃的成份与岩浆类同,因此测试结果可以作为佐证。

由以上分析可以认为,岩石内部 SiO_2 等含量较高时,其粘度就高,那么就易于积累弹性应变能而发生地震。在花岗岩层中 SiO_2 含量较高,因而易于发震。中国大陆地壳西部的

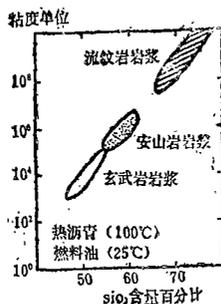


图 2 岩浆的粘度与 SiO_2 含量的关系
Fig.2 Relationship between content of SiO_2 and viscosity of magma

表2 硅酸盐玻璃熔体中各化学元素含量变化对粘度变化的测定值

SiO ₂	各化学组分的重量百分比										公式(1)中的常数					不同温度下的几组粘度值(τ)				
	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	SrO	BaO	Al ₂ O ₃	a	b	773(500℃)	873	973	1073							
74.61	25.39							-17.848	22.759	3.99×10 ¹¹	1.67×10 ⁸	3.49×10 ⁵	2.30×10 ⁸							
75.73	20.50	3.77						-19.738	25.304	9.93×10 ¹²	1.77×10 ⁹	1.85×10 ⁶	6.99×10 ⁸							
77.23	14.22	8.55						-26.462	32.525	4.11×10 ¹⁵	6.23×10 ¹⁰	9.24×10 ⁶	7.08×10 ⁸							
76.21	9.66	14.13						-24.434	32.665	6.66×10 ¹⁷	9.62×10 ¹²	1.39×10 ⁹	1.02×10 ⁸							
70.43	24.72	4.85						-19.664	24.781	2.48×10 ¹²	5.27×10 ⁸	6.38×10 ⁵	2.70×10 ⁸							
66.23	24.17	9.60						-26.269	30.523	1.65×10 ¹⁸	4.95×10 ⁸	1.26×10 ⁵	1.50×10 ²							
61.51	24.23	14.26						-30.5	34.115	4.30×10 ¹⁸	3.78×10 ⁸	3.64×10 ⁴	1.91×10 ¹							
69.06	21.18	8.76						-26.337	31.055	6.88×10 ¹⁸	1.72×10 ⁹	3.8×10 ⁵	4.03×10 ²							
65.37	20.61	14.02						-29.384	34.262	8.70×10 ¹⁴	7.28×10 ⁹	6.74×10 ⁵	2.52×10 ²							
61.59	19.80	18.51						-31.139	36.08	4.33×10 ¹⁵	1.55×10 ¹⁰	8.75×10 ⁵	3.06×10 ²							
76.02	20.85		3.13					-16.026	21.694	1.09×10 ¹²	6.67×10 ⁸	1.86×10 ⁸	1.56×10 ⁴							
79.11	14.98		5.91					-17.736	24.237	4.15×10 ¹³	1.06×10 ¹⁰	1.49×10 ⁷	7.11×10 ⁴							
80.25	10.99		8.76					-17.639	26.592	5.77×10 ¹⁶	6.61×10 ¹²	4.9×10 ⁹	1.39×10 ⁷							
70.13	26.55		3.27					-18.767	23.299	2.36×10 ¹¹	8.33×10 ⁷	1.51×10 ⁵	8.83×10 ²							
68.90	25.23		5.87					-21.253	25.267	2.71×10 ¹¹	4.89×10 ⁷	5.18×10 ⁴	1.97×10 ²							
62.65	27.80		9.55					-21.842	25.770	3.31×10 ¹¹	5.0×10 ⁷	4.6×10 ⁴	1.6×10 ²							
71.15	22.89		5.96					-20.431	25.044	9.87×10 ¹¹	1.92×10 ⁸	2.03×10 ⁵	8.63×10 ²							
67.14	23.94		8.92					-21.311	26.233	4.22×10 ¹²	5.47×10 ⁸	4.47×10 ⁵	1.37×10 ⁸							
65.35	22.94		11.71					-23.186	28.326	2.87×10 ¹³	1.82×10 ⁹	8.43×10 ⁵	1.63×10 ³							
72.51	22.42					5.07		-18.409	23.959	3.85×10 ¹²	1.08×10 ⁹	1.64×10 ⁶	8.31×10 ⁸							
70.42	19.79					9.79		~17.778	24.480	7.79×10 ¹³	1.84×10 ¹⁰	2.41×10 ⁷	1.09×10 ⁵							
69.96	24.53					5.51		-18.733	24.059	2.46×10 ¹²	6.70×10 ⁸	9.85×10 ⁵	4.39×10 ³							
64.95	24.87					10.18		-20.198	25.891	1.98×10 ¹³	2.88×10 ⁹	2.58×10 ⁶	8.55×10 ⁸							
72.38	13.81					4.40		-21.327	29.441	5.75×10 ¹⁶	2.49×10 ¹²	8.53×10 ⁸	1.26×10 ⁶							
70.22	10.59					9.15		-20.115	30.118	7.04×10 ¹⁸	2.42×10 ¹⁴	6.90×10 ¹⁰	9.0×10 ⁷							
72.0	15.16					5.98		-19.995	27.373	2.61×10 ¹⁵	2.29×10 ¹¹	1.37×10 ⁸	3.28×10 ⁵							
70.16	14.81					10.52		-18.516	26.640	8.86×10 ¹⁵	9.99×10 ¹¹	7.31×10 ⁸	2.05×10 ⁶							
69.54	14.93					6.16		-23.014	30.214	8.79×10 ¹⁵	3.94×10 ¹¹	7.95×10 ⁸	1.48×10 ⁵							
64.55	15.37					10.65		-23.399	30.581	1.45×10 ¹⁶	4.27×10 ¹¹	1.07×10 ⁸	1.26×10 ⁵							
68.97	20.17					6.17		-21.777	27.647	9.74×10 ¹⁵	7.79×10 ⁹	4.33×10 ⁶	9.77×10 ⁸							

表 2 续

不同温度下的几组粘滞度 (T)												
各化学组分的重量百分比					公式 (1) 中的常数		773 (500°C)					
SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	SrO	BaO	Al ₂ O ₃	a	b			
64.24	20.12		9.87				5.77	-25.148	30.984	873	973	1073
59.68	25.10		9.45				5.77	-26.974	31.562	2.20 × 10 ¹⁰	4.95 × 10 ⁶	5.84 × 10 ⁸
73.84	15.33		5.10				5.73	-18.581	25.881	1.51 × 10 ⁹	2.91 × 10 ⁵	2.76 × 10 ²
64.01	15.52		14.37				6.10	-24.545	32.061	1.16 × 10 ¹¹	1.04 × 10 ⁸	3.46 × 10 ⁵
70.61	15.90		10.06				3.43	-22.430	29.387	1.51 × 10 ¹²	2.54 × 10 ⁸	2.16 × 10 ⁵
76.02	16.01		4.92	3.05				-20.670	26.857	1.71 × 10 ¹¹	5.92 × 10 ⁷	9.07 × 10 ⁴
65.60	26.39		4.92	3.09				-21.378	25.959	1.24 × 10 ¹⁰	8.56 × 10 ⁶	2.29 × 10 ⁴
63.12	22.89				13.99			-24.23	28.161	2.28 × 10 ⁸	2.00 × 10 ⁵	6.53 × 10 ²
58.13	20.44				21.38			-25.617	29.520	1.07 × 10 ⁸	5.16 × 10 ⁴	1.04 × 10 ²
53.67	19.01				27.32			-29.255	32.610	1.58 × 10 ⁸	5.27 × 10 ⁴	7.54 × 10 ¹
58.22	19.71					20.07		-24.730	27.691	1.25 × 10 ⁸	1.82 × 10 ⁴	1.37 × 10 ¹
51.47	18.58					29.95		-26.615	29.113	1.27 × 10 ⁵	5.36 × 10 ³	1.19 × 10 ¹
46.19	16.26					37.57		-25.805	28.380	5.41 × 10 ⁶	2.02 × 10 ³	3.29 × 10 ⁰
73.83	12.42	13.75						-16.224	20.571	5.05 × 10 ⁶	2.30 × 10 ³	4.40 × 10 ⁰
73.68	26.32	26.32						-16.303	22.602	2.19 × 10 ⁷	8.28 × 10 ⁴	8.86 × 10 ²
										3.87 × 10 ⁹	1.99 × 10 ⁶	5.78 × 10 ⁴

花岗岩层比东部厚，震源机制解的结果也显示了西部地震的震源深度比东部深，这可能与岩石本身特性有关，因而岩性是孕震的一个条件。根据 T. P. Poole 所得的结果，温度每改变 100 度，岩石粘度要改变 3 个数量级左右，可以认为，由于地壳深部剪度高，因此岩石粘度低而不易发生地震，因此大陆地震震源一般都比较浅。温度也是孕震的一个条件。

三、地壳介质的应力积累与松弛

地壳内岩石在应力场的作用下所表现出的力学特性，一般可以用麦克斯韦体来类比，即：当所受外界力作用的时间比较短促时，介质产生弹性形变，此时可把介质近似地看成为虎克体，当所受外界力作用的时间比较长时，介质显示流变性，这时可把介质近似地看成为牛顿体。所谓受力时间的长短是指岩石所受外力作用时间与岩石本身的松弛时间相对比而言的。一般用 τ 表示岩石的松弛时间，其值由岩石的粘度 η 和剪切模量 G 来决定，即：

$$\tau = \eta / G \quad (2)$$

作者拟从岩石的化学成份及温度的改变来分别讨论 η 、 G 的变化。

表 3 列出了几种岩石的剪切模量⁽⁸⁾，从表 3 可以看出， G 的变化范围在一个数量级之内，且不随岩石化学成分变化。因而

可以认为,影响岩石松弛时间 τ 的因素主要是岩石本身粘度 η 。这样,在区域应力场的作用下,介质松弛时间 τ 相对小的地区不易积累较高的弹性应变能,而由于其流变性使得该区域介质中的应力得以松弛,并将应变能向高强度区集中。在 τ 值相对大的地区,应力松弛速率较小,应力易在这里集中,当达到岩石自身的破裂强度时,就会导致地震的发生。

表3 一些岩石的剪切模量(单位: 10^3 kg/cm^2)

岩石类型	页岩	石英岩	石灰岩	花岗岩	花岗片麻岩	大理岩
剪切模量	304	370	274	254	284	160
岩石类型	片麻岩	结晶白云岩	辉长岩~辉绿岩	辉绿岩	玢岩	细粒辉绿岩
剪切模量	326	383	288	369	338	551

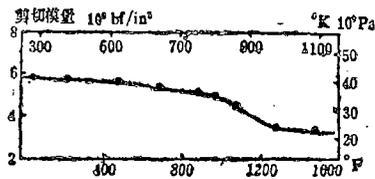


图3 岩石剪切模量随温度的变化

Fig. 3 Change of shearing modulus with temperature

图3是Lewis和Tandand对某种岩石进行剪切模量随温度变化的实验结果^[10]。从图中可以看出,当温度从27°C升高到827°C(300°K→1100°K)时,岩石的剪切模量大约减少了一半,温度在800°K以下岩石的剪切模量变化幅度很小,而在上地壳内温度一般都在800°K以下^[11],故可以粗略地认为在上地壳内,温度的变化对G的影响不大。由于温度的变化影响介质粘度的大小,故温度的变化也就影响到介质的松弛时间。

总之,岩性条件和温度条件决定了介质弹性应变能积累的能力。一般说来,在一定的地质区域内,在大范围的构造力作用下,其外力的增加速率 $d\sigma_e/dt$ 几乎是一致的(如沿同一断层或一小范围内的几组断裂分布等)。这样,弹性应变能的积累程度取决于介质本身的性质,介质的粘性不同就导致了孕震能力的差别。

四、玄武岩在地震孕育中的作用

1. 玄武岩分类

一般将玄武岩分成拉斑玄武岩、高铝玄武岩及橄榄玄武岩三种类型。拉斑玄武岩内 SiO_2 的含量要高一些,而 Na_2O 、 K_2O 、 FeO 等化学成分含量相对较低,而碱性橄榄玄武岩则与其相反。表4列出了一组玄武岩的化学成份含量,根据表4及上述分析可以看出,拉斑玄武岩的粘度要比碱性橄榄玄武岩高1~2个数量级。地表出露的玄武岩的化学成份变化很大,由此导致了各种玄武岩的结晶形式也不同。在拉斑玄武岩中有石英晶体出现,它是 SiO_2 含

表4 玄武岩的化学成分(%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
拉斑玄武岩	49.78	15.69	2.73	9.20	7.79	11.93	1.21	0.29	0.68	0.07	0.35
高铝玄武岩	50.19	17.58	2.84	7.19	7.39	10.50	2.75	0.40	0.75	0.14	0.25
碱性玄武岩	48.11	15.55	2.99	7.19	9.31	10.43	2.85	1.13	1.72	0.56	0.16
中国东部碱性玄武岩	47.56	14.94	4.75	6.12	7.00	8.50	3.60	2.44	2.19	0.67	0.14

量达到饱和的指示性矿物;而在碱性橄榄玄武岩内由于SiO₂含量相对较少而无石英晶体出现,却有橄榄石晶体出现,它是SiO₂含量不饱和的指示性矿物。橄榄石在基性、超基性岩中均有不同程度的出现,分镁橄榄石和铁橄榄石两类,化学表达式为[Fe、Mg]₂SiO₄。从表达式可以看到,橄榄石内有金属阳离子存在,且Si含量低于一般岩浆岩,其内所含Si与O之比为1:4,因此其内部的络阴离子只能以岛状结构形式存在。这样橄榄石就会表现出很强的塑性性质,松弛时间 τ 很小。Arne Olsen和Tore Birkeland对橄榄石做过变形实验[12],在电光显微镜下所观测到的形变表明,橄榄石的形变只是岛状结构相对发生位移,而其岛状本身并不损坏,即不破坏Si—O化学键。由于在橄榄石中,[SiO₄]⁴⁻与Mg、Fe等只形成离子键,它们之间的稳定程度远远低于Si—O化学键。

另外,在地壳内尤其是断裂附近,水和地热作用不可忽视。一般在430℃—470℃和1~3千巴压力的条件下,橄榄石即可蜕变为蛇纹石[8],在此条件下也易形成滑石等矿物。在断层内若存在类似蛇纹石、滑石等矿物成份,就等于增添了润滑剂,介质的强度就会大大降低。一般在地下20公里深处容易产生这类变化。按照Brace的实验结果,在橄榄石中若有3%的蛇纹石存在时,其滑动形式就变成稳定滑动了[13]。

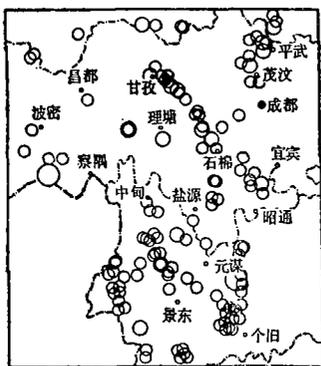


图4 西南地区地震分布图

Fig. 4 Distribution of earthquake of west-south area in China

从以上分析可以看出,拉斑玄武岩比碱性橄榄玄武岩有较高的储能作用。

2. 实例

图4为我国西南地区地震分布图,从图中可以发现,各次地震的震中基本上是呈线性断续分布的。作者认为,造成这一现象的原因与该区的地壳介质结构密切相关,从文献[14]可知,该区是基性、超基性岩广泛出露的地区。

(1) 印度洋板块与欧亚板块交接带地区

雅鲁藏布江为印度洋板块与欧亚板块的缝合带,缝合带的东部为腾冲火山区[15]。历史上沿着雅鲁藏布江发生的地震很少,而其东部发生过多地大地震(如察隅8½级地震),腾冲地区也是地震活动性较高的地区。据梅厚钧等的研究[16],沿雅鲁藏布江—象泉河间有一条蛇绿岩带,东起朗县金东,西至札达县玛那山口以南印度境内,全长约1400公里。按文献[15]的研究,该蛇绿岩带的岩石类型为镁质超基性伴生铁质基性超基性岩,化学成分如表5所示。从表中可以看出,该蛇绿岩带内的岩石中

生铁质基性超基性岩,化学成分如表5所示。从表中可以看出,该蛇绿岩带内的岩石中

SiO₂、Al₂O₃的含量很低,而MgO含量很高,带内橄榄石极多,并有一定程度的蛇纹石化,岩石内无石英晶体出现。由前边的讨论结果可以认为,由于这类岩石的存在,该区介质的松弛时间很小,弹性应变能得不到充分的积累,故无大震发生。

表5 雅鲁藏布江蛇绿岩带的化学成分

岩石类型	产地	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
橄榄岩	昂仁	41.87	0.03	1.32	4.66	4.54	0.15	39.5	0.64	0.05	—
方辉橄榄岩	拉孜	39.07	0.05	1.28	6.15	1.32	0.16	33.78	1.11	0.03	0.15
方辉橄榄岩	吉定	39.88	0.14	0.71	6.46	1.37	0.12	34.12	0.60	0.17	—
方辉橄榄岩	冲堆	38.48	0.06	0.28	7.14	0.85	0.12	35.20	0.63	0.06	—
方辉橄榄岩	日喀则	42.35	0.03	0.76	3.13	5.55	0.16	42.21	0.34	0.05	—
方辉橄榄岩	仁布	37.88	0.08	1.38	7.28	3.19	0.15	37.74	0.64	0.05	0.09
纯橄榄岩	泽当	40.06	0.04	0.80	3.50	6.15	0.15	41.23	1.01	0.07	0.20
方辉橄榄岩	罗布莎	41.28	0.02	1.10	3.04	5.98	0.22	41.79	1.13	0.17	0.03
二辉橄榄岩	罗布莎	42.08	0.03	1.15	2.13	8.00	0.13	43.36	1.13	0.10	0.01
纯橄榄岩	罗布莎	38.14	0.01	0.47	1.51	5.39	0.11	44.27	0.24	0.02	—

缝合带东部的腾冲地区是新生代火山岩区,区内有5次较大规模的火山喷发,其岩性属于拉斑玄武岩及安山玄武岩类,化学成份见表6。从表中可以看出,火山岩内SiO₂的含量为48.79%~67.48%,而MgO、FeO的含量较少。在岩石中有石英晶体存在,无橄榄石。根据前面的分析可以认为,该区火山岩强度高,易于积累弹性应变能而孕育地震。1950年察隅大地震就发生在这里。

表6 腾冲地区火山岩化学成分

时 期	第一期	第二期	第三期	第四期	第五期
SiO ₂	48.79~51.24	48.99~51.08	66.00~67.48	52.64~55.95	56.03~64.23
TiO ₂	1.44~1.74	1.28~1.37	0.45~0.61	1.17~1.30	0.76~1.17
Al ₂ O ₃	16.81~18.06	15.63~16.68	14.74~16.1	15.67~17.96	16.01~17.48
FeO	8.59~10.70	8.89~9.98	3.14~4.86	6.30~8.73	3.99~6.79
MnO	0.15~0.20	0.15~0.22	0.07~0.13	0.13~0.20	0.12~0.18
MgO	4.11~4.86	6.99~8.16	1.36~3.51	3.31~5.85	1.98~4.09
CaO	8.16~9.45	7.65~9.31	2.69~3.83	5.57~8.75	3.39~5.97
Na ₂ O	2.70~3.35	2.02~3.12	2.48~3.39	2.80~3.84	2.09~3.79
K ₂ O	1.06~1.76	1.30~1.71	3.44~4.09	1.70~2.77	2.91~4.08
P ₂ O ₅	0.26~0.56	0.11~0.55	0.16~0.32	0.23~0.50	0.32~0.66
岩石类型	拉斑玄武岩	拉斑玄武岩	安山岩	橄榄玄武岩安山玄武岩	辉石橄榄玄武岩安山玄武岩

(2) 西南其它地区

从图4中可以看到,在云南省南涧彝族自治县至中甸县之间有一条地震活动带(中甸—

大理强震带^[17]),在这条地震带的两端地震活动性突然降低。据文献[18]介绍,在该地震带的北部有金沙江基性超基性岩出露,北起德格以北,南至德钦以南,中止于中甸以北。而地震带的南部是哀牢山基性超基性岩带,南起金平,北至南华马火堂,终止于地震带的南端(图5)。据文献[14]介绍,金沙江、哀牢山基性超基性岩带多是由镁质超基性岩组成。作者认为,由于超基性岩的作用,使得断层附近介质强度降低,在断层两侧作相对运动时,这里易于产生蠕滑而不能积累较大的弹性应变能。而在无超基性岩出露的地段(即中甸至南涧之间),由于介质强度相对较高,蠕滑段的位移更易使这里积累弹性应变能,容易发生地震。从图4中还可以看到,南北地震带南端在进入哀牢山超基性岩分布地区以后,地震活动也就终止了。

四川北部的龙门山超基性岩带东北起于青川,西南抵达宝兴,全长约400公里,其岩性主要是镁质超基性岩。南北地震带在汶川与此超基性岩带相交汇(图6),从图中可以看到,地震活动在此终止。

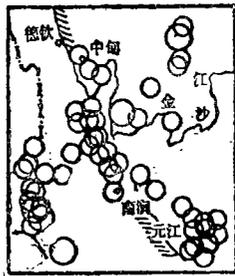


图5 中甸—大理强震带(图中斜线部分为基性超基性岩出露地区)

Fig. 5 The Zhongdian Dali earthquake belt

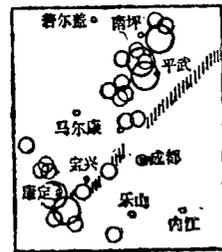


图6 龙门山地震带

Fig. 6 The Longmenshan earthquake belt

鲜水河地震活动带是四川主要的地震活动区域之一(图7),从图7中可以看到,鲜水河地震活动带上无超基性岩分布。该地震带向西北终止于甘孜—理塘超基性岩带,东南则终止于川滇经向超基性岩带。文献[19]曾指出,石棉县的温石棉矿是蛇纹石的变种,可以认为这里是鲜水河地震带的东南让位区。

从以上实例可以看出,在超基性岩连续分布的地区,一般由于其介质强度比较弱而不孕育地震。但在安山玄武岩、拉斑玄武岩出露的区域内,介质的强度相对高一些,另外由于岩浆的作用而提高了岩石的整体性,故这些地区是有孕震能力的。对于超基性岩地区,由于其粘度太低,这样尽管它也可以在某种程度上提高介质的完整性,但还是不可能孕育地震。

3. 调整单元的划分

1973年,郭增建、秦保燕等提出了地震孕育组合模式^[20],认为震源是由应力积累单元和应力调整单元组成的。在构造力的作用下,应力积累单元(图8中的BC段)阻力较大,易于积累弹性应变能;而应力调整单元(图8中AB段和CD段)岩石较软或断层面较光滑,当断层两侧发生相对运动时,此单元阻力较小,因而可以相对缓慢地滑动。这种缓慢滑动的结果使积累单元加速积累弹性应变能,当其超过岩石的剪切强度时便会发生地震。

通过本文的讨论,笔者认为以下几类地区应属于调整单元:

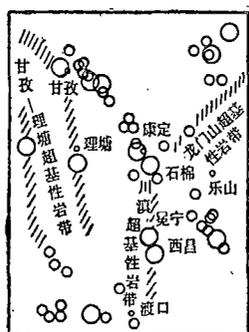


图7 鲜水河地震带

Fig.7 The Xianshuihe earthquake belt

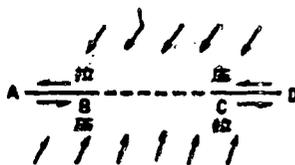


图8

(1) 基性超基性岩分布的地区, 尤其是超基性岩广泛出露的地区。

(2) 温泉出露区及地热异常区。这类区域地下温度一般要比其它地区高, 因而介质强度低。有温泉出露, 说明地下水含量相应多一些, 由于水的解聚作用会破坏岩石内部结构很稳定的Si—O化学键, 从而降低了介质的强度。

(3) 地下富含液体的地区。液体除有解聚作用外还可为蛇纹石化提供条件。同时在液体增加时其介质的流变特性要增加, 故地下富含液体的地区其岩石强度会有不同程度的弱化, 积累弹性应变能的能力也就比含液体较少的地区要低。

(4) 断裂交汇处。断裂带是地壳长期运动造成的, Meissner的研究结果表明, 断裂带上岩石的粘度有程度不同的降低, 一般为2—3个数量级^[22]。但是, 岩石粘度下降的程度要视其破坏程度而定, 在断裂交汇处, 岩石的完整性低于其它地区, 故也就不易于积累较大的应变能。

五、结 论

本文从岩石的化学组成变化分析了地壳内基性超基性岩石对地震孕育的作用。由于各类岩石内各种化学元素的含量不同, 其内部络阴离子团的结构形式也就不一致, 因而导致岩石本身粘度的差异。对岩石粘性影响最大的是SiO₂的含量。基性超基性岩内SiO₂含量相对较低, 因此岩石粘度低, 因而在基性超基性岩广泛出露的地区一般其孕震能力较弱。

地壳内的介质是极其复杂的, 引起地应力积累的因素是多方面的, 必须综合各方面的因素来讨论地震的孕育问题。作者希望本文所给出的初步结果能为地震预报及地震烈度区划工作提供参考, 如若能加强这方面的研究, 相信能得到满意的结果。

本文是作者研究生毕业论文的一部分, 是在郭增建老师和秦保燕老师的指导下完成的。闵子群、刘正荣、李永善及罗荣联老师审阅了手稿, 并提出了宝贵的意见, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1]郭增建, 某些震源物理化学问题的讨论, 中国地球物理年会论文摘要汇编, 1980.
- [2]郭增建、秦保燕, 某些震源物理化学现象与地震预报, 地震, No.1, 1982.
- [3]从柏林, 岩浆活动与火成岩组合, 地质出版社, 1979.
- [4]南京大学地质系, 地球化学, 科学出版社, 1979.
- [5]Flint, R.F. and Skinner, B.J., Physical Geology, 1974.
- [6]F.R. Eirich, Rheology, Vol.3, New York and London, 1960.
- [7]A.W. Gerhand Kunze, Some aspects of viscous stress relaxation and intraplate seismicity, Tectonophysics, Vol.82, No.1-2, 1982.
- [8]陶振宇, 水土保持中岩石力学的国外实例与经验数据, 水利出版社, 1976.
- [9]周新民等, 我国东南沿海新生代玄武岩的化学成分和演化特征, 地质学报, No.1, 1981.
- [10]R.D. Lama et al., Handbook on mechanical properties of rocks, Vol. I, 1978.
- [11]S. Matsushima, On the strength distribution of the earth's crust and upper mantle, and the distribution of great earthquakes with depth, Journal of physics of the earth, No.1, 1961.
- [12]Olsen, A. and Birkeland, T., Electron microscope study of peridotite xenoliths in kimberlites, Contr. Mineral. Petrol., Vol.42, 1973.
- [13]James D. Byerlee, W.F. Brace, Stick slip, stable sliding and earthquakes—Effect of rock type, Pressure, strain rate and stiffness, Journal of Geophysical Research, Vol.73, 1968.
- [14]刘朝基, 我国西南地区基性超基性岩的分布规律、岩体类型及含矿物, 成都地质矿产研究所分刊, Vol.1, No.1.
- [15]朱炳全, 印度与欧亚板块东部碰撞边界, 地球化学, No.1, 1983.
- [16]梅厚钧等, 青藏高原蛇绿岩体系和西藏西部的蛇绿岩成因, 地球化学, No.2, 1981.
- [17]国家地震局西南烈度队, 西南地区地震地质及烈度区划探讨, 地震出版社, 1977.
- [18]四川省地质局108地质队, 四川省超基性岩一般地质特征初步总结, 1965.
- [19]武汉地质学院, 岩浆岩岩石学, 地质出版社, 1980.
- [20]郭增建等, 震源孕育模式的初步讨论, 地球物理学报, Vol.16, 1973.
- [21]郭增建、秦保燕, 震源组合模式与地震预报, 地震科学研究, No.1, 1979.
- [22]R. Meissner, Earth rheology, 1980.

THE PRELIMINARY STUDYING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN
ORIGIN OF EARTHQUAKE AND ELEMENTARY COMPOSITION
OF ROCKS IN THE CRUST

Zhai Wenjie

(Seismological Bureau of Liaoning Province)

Abstract

This paper discusses the effect of the few basic rocks and ultrabasic rocks in the crust during the source process of earthquake by the physico-chemistry. Based on the preliminary studying as compared with practice, we analyse the viscosity of various rock types, discuss the relationship between origin of earthquake and rock viscosity with the activity of earthquakes, make a mark on the earth's surface which is determining stick slip or stable sliding of fault.