# 根据含超压气体裂隙震源模式讨论震级 与震源尺度和孕震时间的关系

## 王智培

(四川省绵阳市水利电力建筑勘察设计研究院,四川绵阳 621000)

摘要: 根据含超压气体裂隙震源模式,分析了地球内部放射热能向孕震区积聚的过程.建立了力学模型,对孕震区岩石弹性势能、位移势能、高能气体热能与地震波能量的转换作了定量分析.分别推导出地震震级与震源尺度、地形变、地震矩、孕震时间的 关系式.所得结果与前人给出的相应公式和实际震例相符.据此,从能量方面进一步 验证了含超压气体裂隙震源模式.

关键词: 含超压气体裂隙;震源模式;地震震级;震源尺度;孕震时间

中图分类号: P315.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844 (2001) 03-0230-08

# 0 引言

国内外学者研究发现<sup>[1]</sup>,旧金山大地震的断层错动所产生的能量小于相应的地震波能 量,即地震震级与震源尺度的关系与断层说的理论不符.对于这一问题是有必要进行研究的. 本文在文献 2] 的基础上,建立力学模型,对孕震区不同形式能量的转换进行了定量分析.换一 个角度,讨论地震震级与震源尺度和孕震时间的关系.从能量方面,对含超压气体裂隙震源模 式进行进一步的验证.

## 1 地震孕育区积聚地球放射热能的过程

根据文献[3]和[4],地球内部直到1000km的深度,都存在不断上升的气体流.这些气体 有原生的,也有再生的.由于岩石圈的屏蔽作用,从深部上升的气体流将地球深部产生的放射 热能带到岩石圈下部并积聚起来,使岩石圈下部的软流圈成为地球内力最活跃的场所.在软流 圈的温度和压力条件下,岩石脱流体作用使水蒸汽、二氧化碳等挥发组份大量析出<sup>[5]</sup>.此外, 放射性元素衰变还产生氦、氩、氢、氡等气体.地质旋回中的沉降运动可不断地将富含挥发组份 和放射性元素的地表岩石带入地幔深处,所以地球内部的产气、产热机制可循环往复地进 行<sup>[5]</sup>.

在岩石圈内部由不同级别的断裂形成破裂网络系统<sup>[6]</sup>.在地球内部垂直向上的压力梯度 作用下,软流圈气体将沿此破裂网络向地表运移,也就将软流圈热能带入岩石圈中<sup>[4]</sup>.气体沿 岩石圈、基底、盖层等不同级别的断裂运移,使岩石圈内热能在水平面上形成局部集中,不同级 别的地震带正好与此相对应<sup>[6]</sup>.而高能气体沿层间断裂运移,则形成岩石圈内垂直方向上热

收稿日期:2000-01-04 作者简介:王智培(1942-),男(汉族),四川成都人,高级工程师,业余从事地震成因研究. 能的局部集中,这又正好与地震震源呈层状分布的特征相对应<sup>29</sup>.

如果断裂的连通性好且直达地表,热能则会随气体而溢出.如果断裂上覆渗透性小的岩 层,则上升气体就会在密闭盖层下积聚,从而集中了不同时期产生的放射热能.随着气体密度 的加大,其膨胀压力会越来越大,甚至超过围压,从而形成宏观的含超压气体裂隙,并最终形成 地震.由于断裂是岩浆、气、液运移的共同通道,部分高能气体活动与岩浆活动相伴生,但气体 比岩浆有更大的渗透性、热容量和可压缩性,且其膨胀压力可随气体和热能的积聚而升高.因 而高能气体比岩浆有更广的活动范围,是使地球内部时空上分散的放射热能向局部集中,并转 化为弹性势能储备,最终形成地震的主导因素.在地震过程中会产生新的断裂从而使岩石圈变 得更破碎,但地质沉降运动中的胶结、压实作用和岩浆的冷凝、填塞作用又可再造有利于含超 压气体裂隙形成的密闭条件.

## 2 震级与地震矩、震源尺度、地形变和孕震时间的关系及验证

含超压气体裂隙在形成和发展过程中,在高能气体膨胀压力推动下,裂隙二壁围岩将向外 移动并发生形变.孕震区增加的附加能量主要为:(1)围岩克服围压位移产生的位移势能;(2) 围岩克服弹性反力形变产生的弹性势能;(3)高能气体热能(由于气体膨胀会产生压力和具有 可压缩性,也可称高能气体弹性势能).地震波主要由其中围岩弹性势能转换而来.所以只要推 算出含超压气体裂隙围岩在临界破裂状态下所具有的弹性势能,即可推测出相应地震的震级. 而由临界状态孕震区所具有的总能量,根据地球内部生热率,即可推算出积累这些能量所需的 时间,即孕震时间.据此,可推导出地震震级与地震矩、震源尺度、地形变和孕震时间的关系式. 2.1 含超压气体裂隙围岩的弹性势能

2.1.1 水平圆形裂隙及其周边固支圆板力学模型

岩石在静压力下( σ<sub>1</sub> = σ<sub>2</sub> = σ<sub>3</sub>)并不破裂,实际岩石破裂都是剪裂或张裂<sup>13</sup>.所以假设岩 石的破裂由含超压气体裂隙内气体膨胀压力在上覆岩层中产生的附加剪应力或张应力引起, 在此基础上建立水平圆形裂隙及其周边固支圆板力学模型,见图 1.将该模型作如下简化:

(1) 将含超压气体裂隙上方岩层作为如图 1b 所示的周边固支圆板. 圆板半径 R 等于裂隙半径,厚度  $\omega$  等于裂隙埋深.

(2) 不计岩石体力, 而设圆板底部作用有 垂直向上的均布荷载. 差压强  $q = P_{ = } - \rho_{ = }$  $\omega$ . 其中  $P_{ = }$  为气体对裂隙壁的压强,  $\rho_{ = }$  为岩 石密度.

(3) 圆板为均一弹性体,不考虑粘性和塑性.

(4) 忽略岩石体积变化,设圆板中面的任 一法线上,圆板全厚度内的所有各点具有相 同的位移且等于计算挠度.

(5)圆板中面内各点都没有平行于中面 的位移.

在差压强作用下,圆板将向上挠曲同时 产生弹性反力.差压强越大,圆板挠度 W 越 大,弹性反力越大.这时系统合力为零,处于



 (a) 震源模式横剖面; (b) 受均布荷载周边固支圆板力学模型
 图 1 水平 含超 压气 体裂 隙 及 其 力学 模型示 意图
 Fig. 1 Sketch of mechanical model of the horizontal

Fig. 1 Sketch of mechanical model of the horizonta crack containing hyperpressure gas 随遇平衡状态.当圆板最大剪应力或最大张应力达到岩石极限强度时,圆板溃裂,弹性反力锐减,系统失稳,产生合力,即垂直向上的冲击力而发震.

2.1.2 水平圆形含超压气体裂隙围岩的弹性势能

在高能气体膨胀压力作用下,水平含超压气体裂隙上覆岩层将向上发生穹隆状弯曲变形, 主要发生在附加应力、应变的区域,见图 1b 所示的力学模型中的固支圆板.根据文献[8],圆板 所具有的弹性势能可表示为:

$$U \neq = 3.57 \pi E \omega^3 W_{\text{max}}^2 / [(1 - \mu^2)d^2]$$
<sup>(1)</sup>

式中: E为岩石弹性模量,  $\mu$ 为泊松比,  $d \le \omega$ 分别为圆板直径和厚度,  $W_{\max}$ 为圆板最大挠度. 圆板最大挠度产生在圆板中心, 可表示为<sup>9</sup>:

$$W_{\rm max} = 0.011 \ 7(1 - \mu^2) d^4 q / (E\omega^3)$$
<sup>(2)</sup>

式中: q 为圆板底部作用的均布荷载, 即前述差压强. 圆板挠曲产生的最大张应力:

$$\sigma_{\max} = 3d^2q/(16\omega^2) \tag{3}$$

圆板受剪切产生的最大剪应力:

$$\tau_{\rm max} = 3d^2q/(8\omega^2) \tag{4}$$

当圆板内张应力  $\sigma_{max}$  达到岩石抗张极限强度[ $\sigma$ ], 或最大剪应力  $\tau_{max}$  达岩石抗剪极限强度[ $\tau$ ] 时, 圆板溃裂, 即发生地震. 比较式(3)和式(4)可知, 当 d > 2[ $\sigma$ ]  $\omega/[\tau]$  时, 圆板由于最大张应力  $\sigma_{max}$  首先达到极限强度[ $\sigma$ ] 而溃裂. 根据式(2)和式(3)得到临界状态圆板最大挠度:

$$W_{\rm max} = (1 - \mu^2) d^2 [\sigma] / (16E\omega)$$
(5)

当  $d < 2[\sigma] \omega/[\tau]$  时,则圆板由于最大剪应力  $\tau_{max}$  首先达到极限强度[ $\tau$ ] 而溃裂. 由式 (2)和式(4)得临界状态圆板最大挠度:

$$W_{\rm max} = 0.031 \ 2(1 - \mu^2) d^3[\tau] / (E\omega^2)$$
(6)

2.2 地震震级与地震矩的关系

根据王东岩<sup>[10]</sup>的分析, 地震效率为 0.05~0.15. 用含超压气体裂隙围岩弹性势能  $U_{\mathfrak{P}}$  推算相应的地震波能量  $U_{\mathfrak{P}}$  时, 不计高能气体弹性势能和围岩位移势能, 采用  $U_{\mathfrak{P}} = 0.25 \ U_{\mathfrak{P}}$ . 再根据一般以 10<sup>-7</sup> J 为单位的地震波能量公式 log  $U_{\mathfrak{P}} = 1.5M + 11.8$ , 可推得:

$$M = 0.167 \log U_{\#} - 7.87 \tag{7}$$

根据文献[2],在圆板内过中心轴的平面断裂的面积  $A = d\omega$ ,错距  $U = W_{max}$ ,其地震矩表达式(以下 d、 $\omega$ 单位未说明时均以 cm 计)为:

$$M_0 = E d \omega W_{\rm max} \tag{8}$$

根据文献[11], 低倾角含超压气体裂隙发生的地震相当于倾滑型地震; 高倾角含超压气体 裂隙发生的地震相当于走滑型地震. 根据文献[12], 对于倾滑型地震, 断裂长宽比 *L/D* 一般 为 2 ± 1, 相当于圆板模型  $d = (2 \pm 1)\omega$ . 取平均值  $d = 2\omega$ (此时圆板张裂). 将式(5) 代入式 (1), 再代入式(7), 取  $\mu = 0.25$ ,  $E = 3 \times 10^{10}$  Pa, [ $\sigma$ ] =  $1.3 \times 10^{7}$  Pa, [ $\tau$ ] =  $1.7 \times 10^{7}$  Pa, 与 式(8) 联解得到震级与地震矩的关系式, 即

$$M = 0.667M_0 - 10.8 \tag{9}$$

以式(6)代替式(5),同样可以得到上述公式.

公式(9)与金森博雄<sup>[13]</sup>建议采用的震级标度公式  $M = 0.667 M_0 - 10.8$ 完全相同.

2.3 地震震级与震源尺度、地形变的关系

2.3.1 *M* 与*d*、ω的关系

$$M = 0.667 \log d^2 \omega - 6.01 \tag{10}$$

$$M = 0.667 \log d^4 / \omega - 6.26 \tag{11}$$

将式(10)中  $d^2$  分解为  $d^{1.5} d^{0.5}$ , 用  $w^{0.5}$  代替  $d^{0.5}$ , 则可得以下关系式:

$$M = 1.00 \log d\omega - 6.01 \tag{12}$$

公式(12)系数项和常数项均正好落在文献 14] 中拜尔克亥莫尔公式  $M = 0.59 \log d\omega - 0.23$  和钦尼来公式  $M = (1.67 \pm 0.36) \log d\omega - (14.51 \pm 4.31)$ 的系数项和常数项之间. 2.3.2  $M = d = M W_{max}$ 的关系

若对于走滑型地震也采用圆板模型,则此时圆板是横放的(轴水平). 断裂长(*L*)和宽(*D*) 分别相应于圆板厚度( $\omega$ )和直径(*d*).根据文献[15],倾滑型地震的*L*/*D* = 2 ±1,相当于圆板  $d = (3 \sim 1)\omega$ .走滑型地震的*L*/*D* = 2 ~ 30,相当于圆板  $d = (1/2 \sim 1/30)\omega$ (此时实为圆 柱).所以对于圆板型模型,  $d = \omega$  可代表倾滑型和走滑型地震的平均情况.将  $d = \omega$  代入式 (1),再代入式(7),得到地震震级 *M* 与震源尺度*d* 和形变 *W*<sub>max</sub> 的关系式:

$$M = 0.667 \log dW_{\rm m}^2 - 0.1 \tag{13}$$

将  $d = \omega$  (此时圆板剪裂)代入式(6),再代入式(1)和式(7),得关系式:

$$M = 1.000 \log dW_{\rm m} - 1.68 \tag{14}$$

公式(13)和(14)分别与文献[14] 中钦尼来公式  $M = (0.57 \pm 0.06) \log dW_m^2 - (0.84 \pm 0.56)$ 和  $M = (0.97 \pm 0.10) \log dW_m - (1.51 \pm 0.85)$  接近.

2.3.3 *M* 与*d* 的关系

将  $d = \omega$ 代入式(11),得:

$$M = 2.000 \log d - 6.26 \tag{15}$$

公式(15)与文献[1]中滕井阳一郎由震前隆起区得到的公式  $M = 2.00 \log d - 5.94$  接近.

因倾滑型地震  $d = (3 \sim 1)\omega$ , 将  $d = 3\omega \pi d = \omega$ 分别代入公式(11)和(12)中, 且 d的单位为 km, 可得:

$$M = 2 \log d + 3.79 \pm 0.14 \tag{16}$$

公式(16)与文献[14] 中宇津德治由余震区得到的公式  $M = 2.00 \log d + 3.8$  几乎完全相同.

2.3.4 *M* 与 *W*<sub>max</sub> 的 关系

将  $d = \omega$  和公式(1)、(6)和(7)联解,得:

$$M = 2 \log W_{\rm m} + 3.29 \tag{17}$$

公式(17)与文献[1] 中滕井阳一郎由震前隆起高度得到的公式  $M = 2 \log W_m + 3.28$  很接近.

2.4 地震震级与地震断层尺度的关系

根据断层说, 地震震级应与地震断裂面积( $A = d\omega$ )有关. 但文献 [14] 中拜尔克亥莫尔公式  $M = 0.59 \log d\omega - 0.23$  和钦尼来公式  $M = (1.67 \pm 0.36) \log d\omega - (14.51 \pm 4.31)$ 中的系数项和常数项相差非常之大, 且钦尼来公式中系数项和常数项变幅分别达 ±0.36 和 ±4.31, 说明地震震级与震源尺度的关系与断层说不符. 根据文献[11], 低倾角含超压气体裂隙产生的地震相当于一般的倾滑型地震; 高倾角裂隙则与走滑型地震相对应. 所以圆板模型较

适合倾滑型地震,圆筒模型较适合走滑型地震.前面的推导都是根据圆板模型作出的,以下根 据圆筒模型进行讨论.

2.4.1 垂直线状裂隙的二端固支圆筒力学模型

假设含超压气体裂隙呈细长垂直圆柱形,则可以二端固支厚壁圆筒作为其力学模型,见图 2.圆筒内半径 r<sub>0</sub>等于圆柱形裂隙半径,外半径 R 等于过圆柱二底且垂直中心轴的二个平面截 出的地球球台的平均半径.不计体力,而假设裂隙壁上各点作用有沿法线向外的差压强,即

 $q = P = -\lambda_{B} h$ 

式中: h 为此点深度; 横压系数  $\lambda = \mu/(1 - \mu)$ ;  $P \in$  为气体对裂隙壁的压强;  $\rho_{\Xi}$  为岩石密度;  $\mu$  为泊松比.

2.4.2 基于圆筒模型的震级与震源尺度的关系

垂直线状含超压气体裂隙在高能气体膨胀压力作 用下,围岩将沿裂隙壁法线方向被向外推挤.由于裂隙 上下二端围岩的约束作用,裂隙二端径向位移 W = 0. 实际含超压气体裂隙的形状为中间大、二头小的纺锤 形.设含超压气体裂隙壁上差压强(气体压力与围压之 差)各处相等,并假设围岩所具有的附加弹性势能等于 围岩在差压强作用下向外移动所作的功,设圆筒模型 周围拉应力达到岩石极限强度时圆筒溃裂,推导得出 圆筒处于临界破裂状态所具有的弹性势能为:

 $U_{\mathcal{P}} = \pi[\sigma]^2 d^2 \omega / (24E) \tag{18}$ 

类似前面的推导,可以得到地震震级与震源尺度 的关系式:

$$M = 0.667 \log d^2 \omega - 5.69 \tag{19}$$

式(19)与基于圆板弯折的公式(10)形式相同,系数项相同,常数项亦相近.

2.4.3 地震震级与地震断层尺度关系的验证

利用 70 次地震的资料对式(10)、(11)和(19)进行验证.在 70 次地震中包括有文献[13] 附 录中列出的 43 次地震.将这些地震参数中的断层长度 *L* 和宽度 *D* 分别看作倾滑型地震圆板 模型或走滑型地震圆筒模型的参数 *d* 和ω. 其余 27 次地震参数见表 1.这 70 次地震中既包括 有世界范围内最强的地震,也包括有 1.5 级的微震,且震源尺度由不同途径获得,因此有较好 的代表性.

根据本文公式和前人公式由断裂尺度推算的震级和误差统计见表 2. 由表 2 可以看出,本 文推导的公式与前人公式有同等精度,而且根据本文公式推算的震级 *M* 的误差小于根据前人 公式推算的误差.

2.5 地震震级与孕震时间的关系

文献[13] 给出了不同震级地震的断层参数的平均值.为简化计算,假设含超压气体裂隙为 水平圆形,因此可以周边固支圆板作为其力学模型.在该模型中圆板(裂隙)直径 d、圆板厚度 ω 和最大挠度 W<sub>max</sub> 分别对应文献[13] 中所列断层的长度、宽度和错距.据此可计算出各级地 震相应的孕震时间,见表 3.采用最小二乘法推算得震级与孕震时间的关系为:

$$\log T = 0.80 M - 2.11 \tag{20}$$

式(20)与文献[16]中 Whitcomb 公式  $\log T = 0.80 M - 1.92$ 非常接近.



裂隙震源模型

shaped crack containing hyperpressure gas.

Fig. 2 A sketch of focal model of the cylinder-

表 1	实测地震震级	М	与孕震区 直径 d	和厚度 ω	的关系
-1.1					H 1 7 C 7 V

序号	发震日期	地点	震级(M <sub>S</sub> )	$d/\mathrm{km}$	ω/ km	资料类型及来源
1	1968-04-01	日本	7.7	162	54	体波,文献[15]
2	1968-05-16	日本	8.2	112	204	体波,文献[15]
3	1968-05-16	日本	7.5	144	48	体波,文献[15]
4	1968-08-12	墨西哥	7.5	148	62	体波,文献[15]
5	1968-08-10	马鲁古群岛	7.7	166	47	体波,文献[15]
6	1969-08-11	千岛群岛	8.1	170	55	体波,文献[15]
7	1969-11-22	堪察加半岛	7.7	150	122	体波,文献[15]
8	1970-01-10	菲律宾	7.5	186	43	体波,文献[15]
9	1970-12-10	秘鲁	7.5	156	48	体波,文献[15]
10	1971-01-10	印度尼西亚	7.9	160	59	体波,文献[15]
11	1971-07-14	新不列颠群岛	7.8	188	87	体波,文献[15]
12	1971-07-26	新不列颠群岛	7.7	228	49	体波,文献[15]
13	1971-09-05	库页岛	7.5	110	72	体波, 文献[15]
14	1971-12-15	堪察加半岛	7.8	168	62	体波, 文献[15]
15	1972-04-25	菲律宾	7.5	124	48	体波, 文献[15]
16	1972-07-30	阿拉斯加	7.6	236	55	体波, 文献[15]
17	1973-01-30	墨西哥	7.8	188	50	体波,文献[15]
18	1973-06-17	千岛群岛	7.9	212	80	体波,文献[15]
19	1973-06-24	千岛群岛	7.6	170	52	体波,文献[15]
20	1974-10-13	秘鲁	7.8	240	80	体波,文献[15]
21	1975-10-31	菲律宾	7.6	160	70	体波,文献[15]
22	1976-01-14	Кермадек 群岛	7.8	168	130	体波,文献[15]
23	1966-03	(美)丹佛注水地震	3.7	3	5	微震活动区,文献[16]
24	1966-03	(美)丹佛注水地震	5.5	20	5	微震活动区,文献[16]
25	1982-01-14	(印度)水库地震	3.5	2	1.5	微震活动区,文献[17]
26	1984-07-08	(印度)水库地震	3.2	1.5	1.5	微震活动区,文献[17]
27	1983	(波兰)矿震	1.5	0.173	0.063	地震波谱,文献[18]

#### 表 2 根据本文公式和钦尼来公式计算的震级的误差比较

项目	本文公式 倾滑弯折: $M = 0.667 \log d^2 \omega + 3.99$ 倾滑剪裂: $M = 0.667 \log d^4 / \omega + 3.74$ 走滑地震: $M = 0.667 \log d^2 \omega + 4.31$	钦尼来公式 $M=1.67\log d\omega+2.17$
误差合计 $\sum \Delta M$	15. 11	30. 57
平均误差 $\sum_{\Delta M / N}$	0. 22	0. 44
误差平方和 $\sum (\Delta M)^2$	18.47	87.25
剩余标准差 $\int \left[ \sum (\Delta M)^2 \right] / (N-1)$	0. 52	1. 13
绝对值最大误差	-1.18	2.59
<u>注 1 和《的位别】</u> 。	<u>}+</u>	

注: d 和ω 单位以 km 计

#### 表 3 根据周边固支圆板力学模型计算的各级地震的孕震时间

<b>震级</b> (M)	裂隙直径 圆板直径 2 <i>R</i> /km	裂隙埋深 圆板厚度 ω/ km	裂隙轴高 最大挠度 <i>W<sub>m</sub>/ c</i> m	圆板弹性 势能 U <sub>弹</sub> /J	裂隙围岩 压强 P/Pa	裂隙体积 V/ km <sup>3</sup>	圆板 位移势能 <sup>U</sup> 位 /J <sup>ρ</sup> 。	裂隙高能 气体密度 <sup>、/[mol°km<sup></sup></sup>	裂隙高能 气体内能 <sup>3</sup> ] <i>U</i> <sub>气</sub> /J	孕震区总 能量 <sub>U总</sub> /J	孕震区 面积 F/km <sup>2</sup>	<b>孕震时间</b> <i>T/</i> d
5.5	6	5	30	$2.7 \times 10^{13}$	$1.39  imes 10^{18}$	$8.5 \times 10^{-3}$	$1.18  imes 10^{15}$	$1.35 \times 10^{13}$	$3.63 \times 10^{15}$	$4.84 \times 10^{15}$	28	239
6	10	8	53	$1.4 \times 10^{14}$	$2.23 \times 10^{8}$	$4.2 \times 10^{-2}$	9.37×1015	$1.76 \times 10^{13}$	$2.34 \times 10^{16}$	3.29×1016	79	575
6.5	18	11	75	$5.0 \times 10^{14}$	$3.07 \times 10^{8}$	0.19	$5.83  imes 10^{16}$	$2.0 \times 10^{13}$	$1.2 \times 10^{17}$	1.79  imes 1017	254	973
7	35	15	120	$2.5 \times 10^{15}$	$4.18 \times 10^{8}$	1.15	$4.8 \times 10^{17}$	$2.2 \times 10^{13}$	$8.02 \times 10^{17}$	$1.28  imes 10^{18}$	962	1 840
7.5	60	50	400	4.7×1016	$1.56  imes 10^9$	11.3	$1.76  imes 10^{19}$	$2.83 \times 10^{13}$	$1.01  imes 10^{19}$	$2.77 \times 10^{19}$	2 830	13 500

# 3 结语

由于地幔高能气体沿岩石圈破裂网络向含超压气体裂隙汇集,因此可以使地球内部在时 空上分散的、单位体积内微小的放射热能向地壳局部地区集中,而在一瞬间释放出巨大的能 量.另外,含超压气体裂隙的形成需要密闭条件,因此地震与直达地表的通透性良好的断裂无 关.

根据含超压气体裂隙震源模式和相应的力学模型,本文分别推导出了地震震级与地震矩、 震源尺度、地形变、孕震时间的关系式.这些关系式均与前人给出的公式相吻合.用实测资料验 证的结果表明,这些关系式的精度比前人公式高.这就从能量角度进一步验证了含超压气体裂 隙震源模式的正确性.

本文采用的力学模型并不完善,对含超压气体裂隙震源模式的研究也是初步的.要具体了 解真实含超压气体裂隙在岩石圈内的分布及其几何特征,裂隙内高能气体及其围岩的物理状态,并用以预报地震,还有待更进一步的工作.

#### [参考文献]

- [1] 郭增建,秦保燕.震源物理[M].北京:地震出版社,1979.40,212,236.
- [2] 王智培. 含超压气体裂隙震源模式及其力学验证[J]. 地壳形变与地震, 1993, 13(1): 10-21.
- [3] M B 格佐夫斯基. 构造物理学基础[M]. 刘鼎文, 等译. 北京: 地震出版社, 1984. 297, 304-306.
- [4] B B 别洛乌索夫. 地球构造圈[M]. 林彻, 等译. 北京: 地震出版社, 1983. 89, 347, 372-382, 422-426.
- [5] 威利 PJ. 动力地球学[M]. 朱夏译. 北京: 地震出版社, 1978.41-119, 134-142.
- [6] 黄培华, 金凤英, 丁宝田, 等. 地震地质学基础[M]. 北京: 地震出版社, 1982. 214, 215.
- [7] 山口梅太郎,西松裕一.岩石力学基础[M].黄世衡译.北京:冶金工业出版社,1982.72-85.
- [8] 史密斯 M S. 结构动力学[M]. 五 四翻译小组译. 北京: 国防工业出版社, 1976. 135-137.
- [9] 徐芝纶. 弹性力学简明教程[M]. 北京: 人民出版社, 1980. 209-241, 263-327.
- [10] 王东岩. 震源应力场的量值估算[J]. 华北地震科学, 1984, 2(4): 62-68.
- [11] 王智培. 根据含超压气体裂隙震源模式讨论 P 波初动符号的分布[J]. 西北地震学报, 1998, 20(1): 14-19.
- [12] Purcanu G. 震源参数的定量关系和地震分类[J]. 世界地震译丛, 1983, (1): 26-33.
- [13] 笠原庆一. 地震力学[M]. 赵仲和, 等译. 北京: 地震出版社, 1984. 102, 135, 224-227.
- [14] 中国科学院地球物理研究所. 地震学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1977. 203, 204.
- [15] A B 夫维坚斯卡娅. 世界最强地震震源发展过程的特征[J]. 国外地震, 1979, (4): 19-28.
- [16] 力武常次. 地震预报[M]. 冯锐, 周新华译. 北京: 地震出版社, 1978. 66-78, 150, 192.
- [17] 徐光宇.印度海德拉巴奥斯曼萨加水库附近的微震[J].地震文摘,1988,7(1);25.
- [18] 王周元. 波兰 Now a Ruda 煤矿中矿震的震源参数和震源机制 J]. 地震文摘, 1988, 7(1); 23.

#### 237

# STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN MAGNITUDE AND FOCAL SIZE, SEISMOGENIC PERIOD BY USING THE SEISMIC SOURCE MODEL OF CRACK CONTAINING HYPERPESSURE GAS

WANG Zhi-pei

(Exploring Designing Institute of Water Conservancy, Power and Building of Mianyang City, Sichuan Province, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** By using the seismic source model of crack containing hyperpressure gas, the course of radioactive heat energy in the earth to accumulate in the focal area and cause for earthquake are studied. The mechanical models are given. The quantitative analyses on transformation of elastic and displacement potential energies of the rock and heat energy of the gas in source area into seismic energy are made. The formulas between magnitude and focal size, deformation, seismic moments and seismogenic period are derived. The formulas tally with that of other men of learning and real earthquakes. The seismic source model of crack containing hyperpressure gas is verified further by energy.

Key words: Crack containing hyperpressure gas; Seismic source model; Magnitude; Source size; Seismogenic period

(上接223页)

### STUDY ON DEEP TECTONIC BACKGROUND OF EARTHQUAKE ACTIVITY BY USING THE 4D INVERSIONAL METHOD

LIU Tian-ming, SU Rui, ZHANG Bo-hong

(No.2 Crustal Deformation Monitoring Center, CSB, Xi' an 710054, China)

Abstract: The 4D model is used to invert dynamic variation for crustal density and vertical deformation from the data of gravity measurement and leveling survey. The inverse formulae are derived. Using the formulae, data of gravity measurement and leveling survey in the Hexi region of Gansu province and northwestern Yunnan province are computed, for study on variations of the lower crustal interface density and vertical deformation of Moho surface with time. Relationship between the variations and moderate-strong earthquakes in the two regions is analysed. The results show that density of lower crustal interface reduced on a large scale and upheaval of a wide range of Moho surface in the two regions may be a geophysical criterion in crustal depth for earthquake prediction in one year. Strong earthquakes often occur in regions that are located between upheaval and subsidence of the Moho surface or density reduction and density increase of the interface.

Key words: 4D inversion; Gravity inversion; Moho surface; Density of interface; Vertical deformation; Seismicity; Deep structure