

ANOMALY OF NATURAL POTENTIAL BEFORE THE JINGHE EARTHQUAKE ($M=6.0$, June 3, 1973) IN XINJIANG

Mao Ke

(Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region)

确定历史地震震级的方法讨论

笔者将各地地震记载视为各地震台站的记录资料,对照谢毓寿教授的“新的中国烈度表”和李善邦教授的“历史地震烈度五条补充规定”,确定各地遭受地震影响的强度——烈度,用现今地震所造成的烈度分布(影响场)特点进行类比,反推历史地震震级等参数。虽然各地地震记载无统一原则和标准,但都是以人的直观感觉为基础的。所记载的“地震”的烈度应相当于四度或大于四度,“地微震”可能相当于三度,“地地震”可能相当于五度。

关于近代地震的震级和等烈度线图的关系,前人做了大量工作。笔者结合所收集的大量近代有宏观调查,震中烈度为4度以上的地震分析认为,有如下一些特点:

(1)宏观震中位置位于高烈度区范围,基本上位于四度、五度等烈度线几何中心附近,相差10公里以下的占76%;相差25公里以下的占86%;相差50公里以下的占99.6%。

(2)等烈度线图的最里圈为最高等烈度线,最高烈度为震中烈度,由里向外逐渐衰减。

(3)等烈度线图中各等烈度线的长短轴之比,由高烈度向低烈度衰减,逐渐缩小差距,趋向于1。

震级一般随震中烈度增高而增大^[1],随各等烈度线的面积(或面积等效圆半径)增大而增大^[2]。

相同震级的地震,震中烈度与各等烈度线的面积(或等效圆半径)呈反比^[3]。

根据近代地震所反映的这些特点,针对历史地震资料完备的程度,分别用下列几种方法确定历史地震震级等参数。

(1)用震级与震中烈度关系,推算历史地震震级。

某一时间发生的地震,史料中仅有一地记载,无波及情况,反映史料不完整性。这类史料的处理,是将这一地记载的地名视为地震发生的参考地点,按记载的内容评定烈度。考虑到数理统计不能外推的原则,选用全国和部分地区的近代震中烈度为四度以上的各级地震,按 $M=a+bI$ 。进行回归分析,结果列于表1中。

(2)用震级和各等烈度线面积关系,推算历史地震震级

某次地震,在史料中有多处记载,且有一定波及范围,但无破坏记载或震中情况记述。记载简单,只有“地震”等语。对这类不完备的史料,选用全国及部分地区的具有四度或四

度以上等烈度线的各级地震与之类比处理,按 $M=c+d\lg R_i$ 关系式进行回归分析,结果列表2。

表1

	a	b	n	r	σ	条件选取	注
全 国	0.60	0.70	170	0.91	0.44	震中烈度Ⅳ—Ⅷ 震级2.8—8.5	M: 震级 I ₀ : 震中烈度 a, b: 系数 n: 取样数 r: 相关系数 σ: 标准差
东部地区(42.0°N 以南,106—107°E以 东)	0.37	0.71	76	0.91	0.39	震中烈度Ⅳ—Ⅷ 震级2.8—7.8	
南北地震带	0.92	0.66	51	0.92	0.42	震中烈度Ⅳ—Ⅷ 震级2.8—8.5	

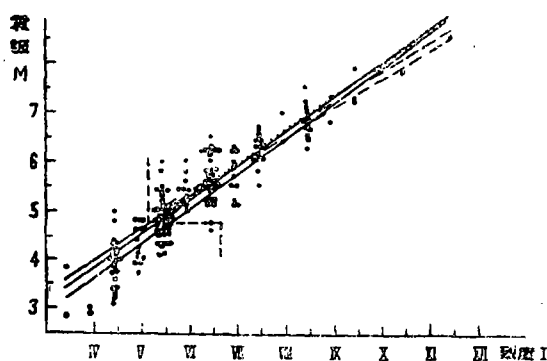


图1 震级与震中烈度关系

(一) $I_0 \geq \text{Ⅳ}$ 各级地震 ① $M=0.60+0.70I_0$ (全国) ② $M=0.37+0.71I_0$ (东部) ③ $M=0.96+0.66I_0$ (南北带)

(二) $I_0 \geq \text{Ⅴ}$ $M_S \geq 4\frac{3}{4}$

④ $M=1.5+0.58I_0$ (据李善邦) ⑤ $M=1.45+0.60I_0$ (据卢荣俭) ⑥ $M=0.98+0.66I_0$ (全国烈度区划图)

表2

范 围	等烈度线	c	d	n	r	σ	条 件 选 取	附 注
全 国	Ⅳ	1.77	1.81	83	0.81	0.55	$M_S=2.8-7.2$	M: 震级 R _S : 等烈度线 面积等级 圆半径 c, d: 系数 n: 取样数 r: 相关系数 σ: 标准差
	Ⅴ	3.11	1.44	122	0.74	0.59	$M_S=3.1-7.2$	
	Ⅵ	4.20	1.29	121	0.75	0.54	$M_S=4.1-7.8$	
	Ⅶ	4.81	1.26	72	0.74	0.49	$M_S=4.6-7.9$	
东部地区(42.0°N 以北,106—107°E以 东)	Ⅳ	1.63	1.79	53	0.85	0.47	$M_S=2.8-7.2$	
	Ⅴ	2.73	1.50	63	0.83	0.48	$M_S=3.1-7.2$	
	Ⅵ	3.84	1.31	37	0.87	0.36	$M_S=4.1-7.2$	
	Ⅶ	4.55	1.39	21	0.85	0.45	$M_S=4.6-7.8$	
南北地震带	Ⅳ	2.95	1.31	10	0.87	0.48	$M_S=2.8-6.2$	
	Ⅴ	3.53	1.42	32	0.84	0.43	$M_S=2.8-6.2$	
	Ⅵ	4.36	1.37	44	0.83	0.47	$M_S=4.1-7.8$	
	Ⅶ	4.88	1.38	27	0.79	0.43	$M_S=5.1-7.8$	

若史料中对某一地震只有二处或三处地点记载，构不成面者，需考虑周围无记载的县，给出最低面积，或二点距离的一半，视为等烈度线面积等效圆半径处理。

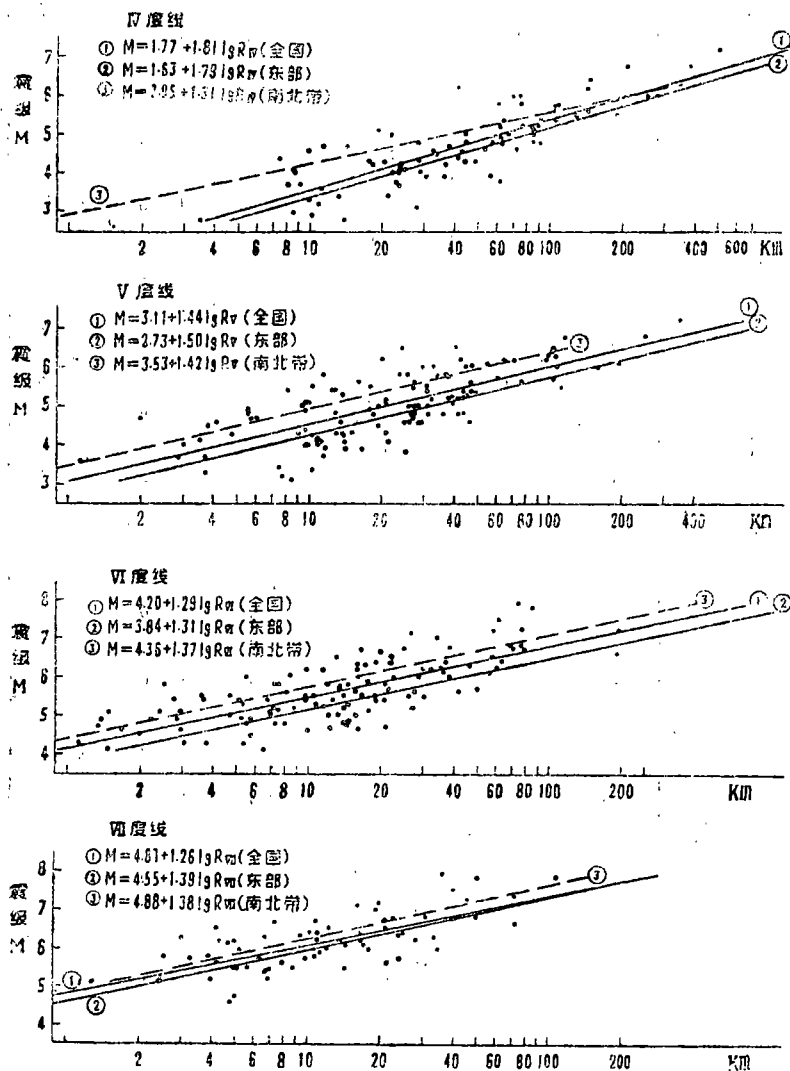


图2 震级与等烈度线的关系

对这类历史地震，以它的几何中心做为参考的震中位置。

(3) 对资料较完整的历史地震，选用近代地震震中烈度为四度以上，等烈度线在四度以上的各级地震与之类比。采用 $M = e + fI_0 + g \lg R$ 或 $M = 10^4 I_0^2 R^{\frac{1}{2}}$ 二元回归分析处理，结果列于表3。

对波及地点记载较少的或偏向一边的历史地震，以震中到波及点的距离视为等效圆半径，或以偏向一边的外包线，按对称形式勾绘一个最低面积来处理。

$M = e + fI_0 + g \lg R$ 及 $M = 10^4 I_0^2 R^{\frac{1}{2}}$ 二经验公式相关性相近，前式使用时较为方便、简单。

上述各经验式经内检和外检均符合要求，以 $M = a + bI_0$ 和 $M = C + d \lg R$ 关系式为最佳。

表 3

范 围	等烈度线	e	f	g	n	γ	σ	h	j	k	γ	σ		
全 国	IV	0.35	0.50	0.84	83	0.90	0.41	0.0094	0.6925	0.0749	0.89	0.0403	$M_S = 2.8-7.2$ $I_0 = N - X$	M_S : 震级 I_0 : 震中烈度 R_i : 等烈度线 面积等效圆 半径 e, f, g, h, j, k : 系数 n : 取样数 γ : 相关系数 σ : 标准差
	V	0.67	0.60	0.46	122	0.88	0.42	0.0012	0.809	0.0381	0.87	0.0385	$M_S = 3.1-7.2$ $I_0 = V - X$	
	VI	1.60	0.51	0.40	121	0.87	0.40	0.1728	0.6344	0.0329	0.86	0.0322	$M_S = 4.1-7.8$ $I_0 = VI - X^+$	
	VII	2.20	0.44	0.47	72	0.84	0.40	0.2616	0.5429	0.0366	0.82	0.0296	$M_S = 4.6-7.9$ $I_0 = VII - X$	
东部地区	IV	0.52	0.48	0.73	53	0.92	0.37	0.0467	0.6344	0.0718	0.89	0.0389	$M_S = 2.8-7.2$ $I_0 = N - X$	
	V	0.82	0.51	0.58	63	0.91	0.37	0.0386	0.7235	0.0484	0.89	0.0365	$M_S = 3.1-7.2$ $I_0 = V -$	
	VI	2.45	0.29	0.79	37	0.90	0.32	0.3703	0.3288	0.0694	0.89	0.0271	$M_S = 4.1-7.2$ $I_0 = VI - X$	
	VII	2.37	0.39	0.53	21	0.87	0.42	0.3195	0.4552	0.0447	0.85	0.0328	$M_S = 4.6-7.8$ $I_0 = VII - X$	
南北地震带	IV	0.53	0.50	0.91	10	0.94	0.34	0.0229	0.6794	0.0885	0.90	0.0458	$M_S = 2.8-6.2$ $I_0 = N - VI^+$	
	V	1.49	0.43	0.81	32	0.89	0.37	0.1629	0.5724	0.0737	0.87	0.037	$M_S = 2.8-6.5$ $I_0 = V - X$	
	VI	1.85	0.47	0.54	44	0.92	0.32	0.224	0.574	0.0425	0.91	0.0253	$M_S = 4.1-7.8$ $I_0 = VI - X^+$	
	VII	2.60	0.38	0.64	27	0.86	0.36	0.3404	0.4498	0.0503	0.86	0.0255	$M_S = 5.1-7.8$ $I_0 = VII - X^+$	

这是由于未考虑震源深度的影响。

上述三种经验式之间相互误差,以东部地区地震为例,以 $M = e + fI_0 + g \lg R_W$ 式计算结果为准,与 $M = a + bI_0$ 式计算结果比较,它们之差一般在 $\pm 0.1-0.3$ 级;与 $M = C + d \lg R_W$ 计算结果比较,其差一般在 $\pm 0.1-0.4$ 级,当 $M \geq 6$ 时即偏低(表4)。

具体应用到历史地震时,应考虑地震具有区域性特点,从表1、2、3及图1、2中可见,造成同一震中烈度或同一等烈度线面积的震级,东部较南北带偏低0.3—1级,按地区统计结果推算该区的历史地震震级为最好。所推算出的历史地震震级,不需再进行人为调整。

由于地震史料具有一定的局限性,所记载的地点多以县城、府城、郡城所在地为主,资料完整程度不一,精度受到限制,误差较大。所推算出的历史地震震级误差达0.5级或大于0.5级。震中位置一般达10—50公里。

笔者认为,经过上述方法处理所确定的历史地震震级等参数,基本可信。(1)最低限度是一次有感地震;(2)用近代地震进行类比,以“地震”有感范围确定历史地震的震中位置,大多不在县城,为近代地震的震中位置大多不在县城所在地证实。无记载的原因,是受当时社会条件等因素所限;(3)因史料记载多以县城以上的城市为主,所勾绘出的外包线面积,不是真正的四度等烈度线面积,一般偏低;(4)“地震”是按最低烈度为下限处理,因

表4

编 号	近 代 地 震 实 例					经 验 式 计 算 结 果				
	地 震 日 期	地 点	I_0	R_W	M_S	M_1	M_2	M_3	相 互 比 较	
									$M_2 - M_1$	$M_3 - M_1$
1	1981.8.25	山东莒县固西	4	14	2.8	3.3	3.2	3.7	0.1	0.4
2	1974.8.31	湖北远安	4*	10.3109	2.9	3.4	3.6	3.4	+0.2	0
8	1972.8.13	湖北秭归	4*	8.612	3.0	3.4	3.6	3.3	+0.2	-0.1
4	1977.1.9	福建长太坂里	5	28.2094	3.1	4.0	3.9	4.2	-0.1	+0.2
5	1971.6.17	湖北远安瓦仓	5	11.0558	3.2	3.7	3.9	3.5	+0.2	-0.2
6	1973.4.30	湖北荆门	5	9.9336	3.3	3.6	3.9	3.4	+0.3	-0.2
7	1972.4.8	湖北均县林茂山	5	13.3034	3.4	3.7	3.9	3.7	+0.2	0
8	1971.2.1	安徽霍山西	5	21.4095	3.4	3.9	3.9	4.0	0	+0.1
9	1972.8.24	河北新保安北	5	11.2838	3.6	3.7	3.9	3.5	+0.2	-0.2
10	1966.8.1	江苏六合竹镇	5	9.356	3.7	3.6	3.9	3.4	+0.3	-0.2
11	1980.6.9	广西保德	5*	23.8633	3.7	4.2	4.3	4.1	+0.1	-0.1
12	1976.4.22	河北大城	4	22.9591	3.8	3.4	3.2	4.1	-0.2	+0.7
13	1977.8.6	湖北丹江口	5	63.5187	3.8	4.2	3.9	4.9	-0.3	+0.7
14	1974.8.7	湖北鱼嘉	5	36.3453	3.9	4.1	3.9	4.4	-0.2	+0.3
15	1972.9.12	湖北广济	5*	30.8864	3.9	4.3	4.3	4.3	0	0
16	1978.6.27	江西宁都西	5*	56.9803	3.9	4.4	4.3	4.8	-0.1	+0.4
17	1977.2.2	内蒙凉城双古城	5	8.7039	4.0	3.6	3.9	3.3	+0.3	-0.3
18	1973.4.14	内蒙兴和	5	22.3051	4.0	3.9	3.9	4.0	0	+0.1
19	1971.8.15	山西离喜西	5	23.4529	4.0	3.9	3.9	4.1	0	+0.2
20	1978.8.21	山西天镇新平堡	5*	29.6186	4.0	4.2	4.3	4.3	+0.1	+0.1
21	1973.9.21	河北文安、坝县间	5	8.7079	4.1	3.6	3.9	3.3	+0.3	-0.3
22	1977.5.10	江苏溧水白马	5	25.2187	4.1	3.9	3.9	4.1	0	+0.2
23	1978.6.1	山西大同吉家庄	5*	23.7496	4.1	4.2	4.3	4.1	+0.1	-0.1
24	1976.10.14	内蒙凉城	6		4.1		4.6			
25	1977.7.9	山东成武	5*		4.1		4.3			
26	1963.10.7	广东河源	5	36.8368	4.2	4.1	3.9	4.4	-0.2	-0.3
27	1964.12.19	江苏吴县东山	6	23.9365	4 ¹ / ₄	4.4	4.6	4.1	0.2	-0.3
28	1965.5.7	河北沙城	5	18.6489	4 ¹ / ₄	4.3	4.6	3.9	0.3	-0.4
29	1978.1.22	内蒙抗锦后旗沙海	5	17.8947	4.3	3.8	3.9	3.9	0.1	+0.1
30	1963.12.6	广东河源	5	42.4269	4.3	4.1	3.9	4.5	-0.2	+0.3
31	1976.11.2	江苏盐城大纵湖	6	49.4044	4.3	4.6	4.6	4.7	0	+0.1
32	1973.11.29	河南淅川	6		4.3		4.6			
33	1963.10.6	广东河源	5	41.7042	4.4	4.1	3.9	4.5	-0.2	+0.3
34	1977.8.14	内蒙凉城三苏木	6		4.5		4.6			
35	1979.7.11	江苏溧阳西	6	33.6154	4.5	4.5	4.6	4.4	+0.1	-0.1
36	1970.7.19	内蒙临河	5*	43.7019	4.6	4.4	4.3	4.6	-0.1	+0.3
37	1967.7.11	安徽马鞍山	5*		4.6		4.3			
38	1970.8.10	山东曲阜	5*	73.5612	4.6	4.5	4.3	5.0	-0.2	+0.5
39	1964.8.2	广东河源	6	32.6402	4.6	4.5	4.6	4.3	+0.1	-0.2
40	1969.4.24	山西繁峙	6		4.6		4.6			
41	1964.9.5	湖北郧西	7	53.8202	4.6	5.1	5.3	4.7	+0.2	-0.4
42	1980.8.2	河南林县	6	11.6720	4.7	4.2	4.6	3.5	+0.4	-0.7
43	1969.1.2	湖北保康马良坪	6	37.7206	4.7	4.6	4.6	4.5	0	-0.1
44	1970.8.25	贵州晴隆	5*	28.7681	4.8	4.2	4.3	4.2	+0.1	0
45	1967.8.20	陕西南郑	6	45.3111	4.8	4.6	4.6	4.6	0	0

续表

编 号	近 代 地 震 实 例					经 验 式 计 算 结 果				
	地震日期	地 点	I_0	R_N	M_S	M_1	M_2	M_3	相 互 比 较	
									M_2-M_1	M_3-M_1
46	1970.11.10	内蒙沙特盖	6	85.1907	4.8	4.8	4.6	5.1	-0.2	+0.3
47	1971.6.27	贵州池望漠	6		4.9		4.6			
48	1962.4.5	广东河源洞源	6	63.0782	4.9	4.7	4.6	4.9	-0.1	+0.3
49	1979.8.2	安徽固镇于庙	6		4.9		4.6			
50	1960.11.5	广西河池九圩	6	21.8509	5	4.4	4.6	4.0	+0.2	-0.4
51	1962.4.20	广西田桂八村	6	44.845	5	4.6	4.6	4.6	0	0
52	1977.10.19	广西平果	6	85.9347	5	4.8	4.6	5.1	-0.2	+0.3
53	1979.6.19	山西介休	6*		5.1		5.0			
54	1979.5.22	湖北秭归兴山	7		5.1		5.3			
55	1964.9.23	广东河源	7	86.7054	5.1	5.3	5.3	5.1	0	-0.2
56	1968.4.1	福群华安	6*		5.2		5.0			
57	1961.8.8	湖北宜都	7	6.28254	5.2	5.2	5.3	4.8	0.1	-0.3
58	1966.8.6	河北晋宁	7		5.2		5.3			
59	1966.8.26	河北束鹿汧口	7*		5.2		5.7			
60	1973.12.31	河北河间	6		5.3		4.6			
61	1967.7.28	河北怀来	6	65.3096	5.4	4.7	4.6	4.9	-0.1	+0.2
62	1959.8.11	陕西韩城	6*	131.6508	5.4	5.2	5.0	5.4	-0.2	+0.2
63	1974.4.22	江苏溧阳上沛	7	130.6192	5.5	5.4	5.3	5.4	-0.1	0
64	1965.1.13	山西垣曲	7*	192.8172	5.5	5.8	5.7	5.7	-0.1	-0.1
65	1952.10.8	山西西淳	6		5 ¹ / ₂		6.1			
66	1967.12.8	河北束鹿	7		5.7		5.3			
67	1958.9.25	广西灵山	7	104.8845	5 ³ / ₄	5.4	5.3	5.2	-0.1	-0.2
68	1979.7.9	江苏溧阳上沛东	8	257.841	5.0	6.1	6.1	5.9	0	-0.2
69	1962.8.19	广东河源	8		6.1		6.1			
70	1976.4.6	内蒙和林格尔	7		6.2		5.3			
71	1967.8.27	河北河间	7		6.3		5.3			
72	1969.7.26	广东阳江	8*		6.4		6.4			
73	1966.8.8	河北隆尧马庄任村	9*	387.4462	6.8	7.0	7.1	7.3		
74	1937.8.1	山东菏泽	9		7.0		6.8			
75	1966.8.22	河北宁晋东旺	10	522.6712	7.2	7.3	7.5	6.5	+0.2	-0.8
76	1976		11		7.8		8.2			

I_0 : 震中烈度 R_N : 四度等烈度线面积等效圆半径 M_S : 震级

$$M_1 = 0.52 + 0.48I_0 + 0.73 \lg R_N \quad M_2 = 0.37 + 0.71I_0 \quad M_3 = 1.63 + 1.79 \lg R_N$$

此所推算出的震级, 一般应是最低震级。震中位置误差, 东部地区一般在50公里以下。

历史地震震级表示方法, 日本等国采用整数后面小数一位表示, 但历史地震震级误差较大, 这样给人们易造成精度是0.1的误会。建议取整数后面用4分法($\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、0)表示相对大小, 不代表精度是 $\frac{1}{4}$ 级, 为与近代仪器测定的震级相区别, 应加括号表示。

(江苏省地震局 朱书俊)

(本文1984年3月28日收到)

参 考 文 献

- [1] 李善邦等, 中国地震目录, 科学出版社, 1960.
 [2] 卢荣俭等, 等震线图与震级的关系, 地震工程研究报告集, 科学出版社, 1981.
 [3] 宇津德志, 地震学, 陈映成等译, 地震出版社, 1981.
 [4] 东京天文台, 理科年表, 杂善株氏会社, 1979.
 [5] 谢毓寿, 地震与抗震, 科学出版社, 1977.
 [6] 国家地震局, 中国地震等烈度线图集, 地震出版社, 1979.
 [7] 广西省地震局历史地震小组, 广西地震志, 广西人民出版社, 1981.

DISCUSSION OF THE METHOD ON DETERMINING THE MAGNITUDE OF HISTORICAL EARTHQUAKES

Zhu Shujun

(Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing, China)

1984年元月6日旦马(M=5.5)级地震前重力固体潮的异常形态

重力预报地震的数据虽有多种, 但它们的物理实质是一样的^[1]。因此, 我们日常工作中只使用日均值和潮汐因子 δ 值。日均值能反映震前地壳的快速蠕滑过程¹⁾, δ 值反映了震前趋势的变化²⁾。我们将日均值作为短临预报指标, 将 δ 值作为中长期预报指标。

1. 震前日均值和 δ 值变化的基本形态:

(1) 岩石的压力试验表明岩石的变形过程是: $\rightarrow$ 体积压缩 $\rightarrow$ 体积膨胀 $\rightarrow$ 弹性变塑性 $\rightarrow$ 岩石破裂。

根据地壳中岩层在强大应力场作用下经历的这一过程, 可以推算出震中附近的相应的重力场变化模型

$$\Delta g = \frac{d}{dz} \int \frac{\rho(r)}{r} dV = 2\pi G \Delta \rho (d + a - \sqrt{d^2 + a^2})$$

根据弹性力学理论又可推出 $\Delta \rho = \rho(1 - \nu - 2\nu^2) \frac{|\sigma_x|}{E}$, 式中 Δg 为重力值变化, ρ 为

1) 国家地震局武汉地震大队重力一组, 观测重力场变化预报地震可能性问题, 1977.

国家地震局武汉地震大队重力一组, 南北地震带上重力潮汐因子的初步研究, 1977.

2) 许天铭, 重力潮汐因子在地震前后的变化特征, 1978.