

新编

地震预报

XinBian DiZhen YuBao

刘正荣 © 著

云南大学出版社

新编

地震预报

XinBian DiZhen YuBao

刘正荣◎著



本书受云南省地震()项重点工程项目『云南大震短临跟踪』专项资助

云南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编地震预报 / 刘正荣著. —昆明: 云南大学出版社, 2014
ISBN 978-7-5482-1970-5

I. ①新… II. ①刘… III. ①地震预报—研究 IV. ①P315.75

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第062373号

策划编辑: 徐 曼
责任编辑: 徐 曼
封面设计: 周 璐

新
编
地
震
预
报

Xinbian Dizhen Yubao

刘正荣◎著

出版发行: 云南大学出版社
印 装: 昆明研汇印刷有限责任公司
开 本: 787mm×1092mm 1/16
印 张: 12
字 数: 268千
版 次: 2014年5月第1版
印 次: 2014年5月第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-5482-1970-5
定 价: 32.00元

社 址: 昆明市翠湖北路2号云南大学英华园内
邮 编: 650091
电 话: (0871) 65033244 65031071
网 址: <http://www.ynup.com>
E-mail: market@ynup.com

前 言

1932年冬月初四，我出生于四川省彭县隆丰乡（原名龙凤场，辛亥革命后更名）（现更名为彭州市隆丰镇）；1956年毕业于四川大学物理系，随即在中国科学院地球物理研究所参加工作，师从李善邦教授。实际上我也是傅承义先生的学生。1960年我在先生指导下撰写了《论确定震源深度的宏观方法》一文，后发表在1960年《科学记录》上。这篇文章虽然不是很成功，但傅先生带我做了科学研究，使我获益不少。1973年调到云南省工作，后一直从事地震及地震预报研究工作。1986年被评为云南省劳动模范，1987年晋升为研究员，1988年被选为第七届全国人民代表大会代表，1991年国务院授予政府特殊津贴，1993年被选为云南省人民代表大会常务委员会委员。

各个不同时期都关注不同的地震的内容，也就有不同的题目了。

20世纪50年代是很多关于各地区地震烈度的问题，主要是宏观资料比较多，因此发展了求震源深度的量版法。这个方法，傅承义先生很喜欢。

到1986年人们普遍关心地震预报，这里首先要解决前震和余震的区别。因此才提出用地震频度衰减的办法来区分前震和余震。“刘正荣在地震预报研究中注意到，一次较强地震发生后，余震的衰减程度与其后还有无大地震有一定关系。经多年探索，总结出‘地震频度衰减法’—— h 值来判断震情出现后还有无更大地震接踵而来的方法。这一方法综合考虑了茂木(Mogi k.)余震衰减公式和古登堡(Gutenberg B.)震级—频度关系后，得到：当 $h > 1$ 时，地震序列为正常衰减，地震类型一般为主震—余震型或双主震—余震型，也可推算主震之后的最大余震及截止时间；当 $h \leq 1$ 时，地震序列为异常衰减，系前震序列，其后应跟随更大的地震。1979年以来发表了有关地震频度衰减与地震预报的一系列论文，引起国内外地震预报领域同行的关注。1984年提出了‘根据地震频度衰减预报地震的工作细则’。在全国一些地区多次检验，证明这一方法具有一定的预报效果，在全国地震预报系统得到较广泛的应用，但预测效能及普遍实用性尚有待进一步验证。1985年 h 值被评为国家地震局‘地震预报方法清理及近期强震危险性判定研究’科学技术专项一等奖。”（云南省地方志编纂委员会编：《云南省志·地震志》，云南人民出版社1999年版，第257~258页）

现代地震学有两大特点：①转移地震；②有月亮影响。地震分为两类，一类是土生土长的非转移地震，另一类是转移地震。同时现代地震学又加入了对月亮的考虑，于是有地震成长时间（月亮包含在成长时间内）一说。有了月亮的影响，就有了19年、

57年、171年的地震周期。这就是我整个地震学研究进程的轮廓，其代表文献有《转移地震》《地震的天文效应》《地震的成长时间》《地震轮回》。

我于20世纪50年代写的东西老一辈的先生说很好，80年代写的东西有国家地震局发奖，2005年以后写的东西就只有郭增建同志说很好了。

如果我有一个助手，得心应手的助手，也许事情要好一些，但是世界上就没有“如果”，“也许”也不存在，只有现实一点。总的来说，我对我自己还是很满意的，地震预报有那么多问题，又是转移地震，又是启动力，又是地震周期，又是地震三关，又是增加应力，提前发震，又是减少应力，推迟发震……那么多问题要我一个人来解决，我觉得不太适应。的确，如果有不当的话，敬请你们多多谅解。事情就是这样，只能现实一点了。

刘正荣
2013年8月

国家地震局兰州地震研究所稿纸

正荣同志：

你的大书和小书我都看过了。很好！今日你我都已高龄，我写一首诗对你作一总赞评。

赞刘正荣教授

历获成果今八旬，
仍思预报为黎民。
世界难题敢冲破，
不愧吾华科研人。

郭培建

2012年6月21日

于兰州

目 录

· 宏观地震学研究 ·

用宏观方法测定震源深度的量版 (1)

· 大地震研究 ·

龙陵共轭地震群的特征 (8)

以耿马、澜沧地震为例再论共轭地震 (18)

东亚地区强震活动的 50 年周期 (22)

固体潮对海城地震的调制与触发 (26)

· b 值研究 ·

b 值特征的研究 (30)

建筑抗震设计中的小、中、大震烈度研究 (35)

· 复发周期 ·

地震的复发周期 (41)

复发周期用于长期地震预报

——从董国胜同志预报 8 级地震谈起 (45)

用复发周期等研究四川荣昌地震

——兼论最大地震震级与弱震数目的关系 (47)

澜沧—耿马地震前的复发周期时空扫描 (52)

· 地震频度研究 ·

地震频度衰减与地震预报 (58)

远程前震与远程余震

—— h 值研究的重要补充 (69)

最强余震的识别 (72)

地震频度衰减研究中的积分下限问题 (73)

关于地震频度衰减的一个证明 (79)
余震衰减公式的统一 (85)

· 地震预报的极限时间法 ·

极限时间法与临震预报 (90)
禄丰、武定、丽江诸地震的相互关系
——兼论丽江地震的预报 (103)
用极限时间法分析四川吉居地震 (115)
用极限时间法分析 2003 年巴楚、伽师等地震前的 h' 值异常变化过程 (118)

· 转移地震 ·

转移地震 (123)
地震力与弱转移地震 (139)

· 解读大地震 ·

解读汶川大地震 (147)
解读唐山大地震 (154)
解读智利大地震 (156)
1970 年涌州大地震后的趋势 (158)
地震的天文效应 (162)
地震的成长时间 (167)
地震轮回 (173)

· 附 件 ·

给阎志德的一封公开信 (180)
主要论文目录 (181)

· 附 录 ·

附录一 《地震频度衰减研究中的积分下限问题》式 (12) 的推导过程 (183)
附录二 不同类别的转移地震 (185)

· 编后记 ·

摸着石头过河 (187)

用宏观方法测定震源深度的量版

摘要：根据古登堡和李克特曾提出的常用公式以及其他人的研究成果，归纳出下式：

$$h = \Delta_i / \sqrt{10^{(I_0 - 1.5)/S} - 1}$$

式中， h 为震源深度； Δ_i 为烈度为 I_i 的等震线半径； I_0 为震中烈度； S 为系数。对上式取对数得：

$$\lg h = \lg \Delta_i - \frac{1}{2} \lg [10^{(I_0 - I_i)/S} - 1]$$

根据此式可以绘成一个量版，以同时测定 h 和 S 。

利用这个量版测定了中国 19 次地震的 S 和 h ，结合相关资料^[4]指出中国东部的 S 系数比西部的偏低；且当深度加大时， S 系数加大。采用相关方法^[1]测定了 61 个地震的 S 系数，结果表明， S 的数值随深度的增加而加大， S 与低速层的关系并不明显。

一、学者们的方法

古登堡 (Gutenberg) 和李克特 (Richter) 在 1942 年曾经提出一个我们所熟知的公式来测定地震的震源深度^[1]：

$$h = \Delta / \sqrt{10^{(I_0 - 1.5)/S} - 1} \quad (1)$$

式中， h 为震源深度； Δ 为有感半径； I_0 为震中烈度。他们认为地震有感边界的烈度是 1.5 度， Δ 即相应于这一烈度值的平均半径。

布拉凯 (Blake) 也曾经提出过类似的公式^[2]，他的公式可以很容易地化为下列形式，即

$$h = \Delta_I / \sqrt{10^{(I_0 - I)/S} - 1} \quad (2)$$

式中， Δ_I 为烈度为 I 的地震烈度等震线的平均半径； S 为地震烈度的递减系数，一般 $1.5 < S < 3$ ，布氏取 $2S = 5.35$ 。

梅世蓉和萨瓦连斯基在研究中国的地震活动性时，采用下述公式来测定震源深度，而且也同时测定了系数 S ^[3]：

$$I_2 - I_1 = 2S \left[\lg \sqrt{\frac{\Delta_1^2}{h^2} + 1} - \lg \sqrt{\frac{\Delta_2^2}{h^2} + 1} \right] \quad (3)$$

在研究了我国地震之后，确定 $2S=5$ 。采用这个公式的优点是可以不采用震中烈度，因为震中烈度常常是不够准确的。

傅承义教授和笔者在研究我国地震时，采用下列公式来测定震源深度 h 和烈度递减系数 $S^{[4]}$ ：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (h - \Delta_i / \sqrt{C_i - 1}) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (h - \Delta_i / \sqrt{C_i - 1}) \left[\frac{C_i \Delta_i (I_0 - I_i)}{S^2 (C_i - 1)^{3/2}} \right] = 0 \end{cases} \quad (4)$$

即采用多条等震线来计算震源深度。最后也指出，对于我国地震平均 $2S \approx 5$ 。自然，一般来讲，可不必而且也不需要取为常数。

谢巴林在 1959 年用宏观资料研究低速层时，指出下述公式对测定震源深度是适合的：

$$I_0 - I_i = 2S \lg \sqrt{1 + \left(\frac{\Delta_i}{h} \right)^2} \quad (5)$$

对于震源在低速层以上的地震，取 $2S=3.6$ ；对震源在低速层以下的地震，取 $2S=6$ 。

麦德维杰夫在 1956 年曾提出一个测定震源深度的公式，1959 年又提出一个新的公式：

$$h = \Delta_m / \sqrt{2^{2(m-0.5)/n} - 1} \quad (n=2)$$

只需通过简单的变换，便可将上式写作

$$h = \Delta_i / \sqrt{10^{(I_0 - I_i)/3.32} - 1} \quad (6)$$

麦德维杰夫认为对每一次地震而言，震中烈度都比最内的等震线的烈度高半度。

自然，除上述这些公式以外，还有许多测定震源深度的公式，由于与本文关系不大，我们就不一一叙述了。

二、基本公式的建立

综合以上诸式，不难看出，无论各人对地震烈度物理含义的理解如何，他们的公式均可以下列的形式加以概括，或者从这一形式出发加以推导：

$$h = \Delta_i / \sqrt{10^{(I_0 - I_i)/S} - 1} \quad (7)$$

所不同的仅仅是系数 S 的取值不同而已，古登堡和李克特取 $S=3$ ，布拉凯取 $2S=5.35$ ，梅世蓉取 $S=2.5$ ，谢巴林取 $S=1.8$ 或 3 ，而麦德维杰夫则取 $S=3.32$ ，由此可见许多地震学者均同意采用公式(7)的形式来测定地震震源深度。

系数 S 取值的不同，可以认为有以下一些原因：世界各地——特别是各地的地壳

岩石的物理性质并不均一，随着震源深度的不同以及地震的强度不同，等等。因此，在测定某次地震的震源深度 h 时，应当同时测定该次地震的系数。傅承义教授和笔者以及萨瓦连斯基和梅世蓉等所提出的方法都是能够同时测定 h 和 S 数值的。但前者采用最小二乘法，计算颇为麻烦；后者采用作图法，操作程序和计算也并不简便易行。兹提出一个测定震源深度的量版。

三、量版的计算原理

将公式 (7) 取对数，得

$$\lg h = \lg \Delta_i - \frac{1}{2} \lg [10^{(I_0 - I_i)/S} - 1] \quad (8)$$

式中各符号的意义同前， Δ_i 是烈度为 I_i 的等震线半径。显然，对于同一次地震来讲，无论用哪一条等震线来测定震源深度，其结果都应当一致，亦即从 (8) 式来看，各等震线半径的对数值与 (8) 式第二项 $\frac{1}{2} \lg [10^{(I_0 - I_i)/S} - 1]$ 的差是一常数，这一常数即是 $\lg h$ 。自然，这句话只有当参变量 S 所取的数值恰当时才是正确的。

对于 $\frac{1}{2} \lg [10^{(I_0 - I_i)/S} - 1]$ ，令 $S = 1.5, 2, \dots$ ，可取 $x = I_0 - I_i$ ， $y = \frac{1}{2} \lg [10^{(I_0 - I_i)/S} - 1]$ ，则可以绘成一组曲线，此即量版底图 (图 1)。另，于底图上置一透明板，绘上与底图

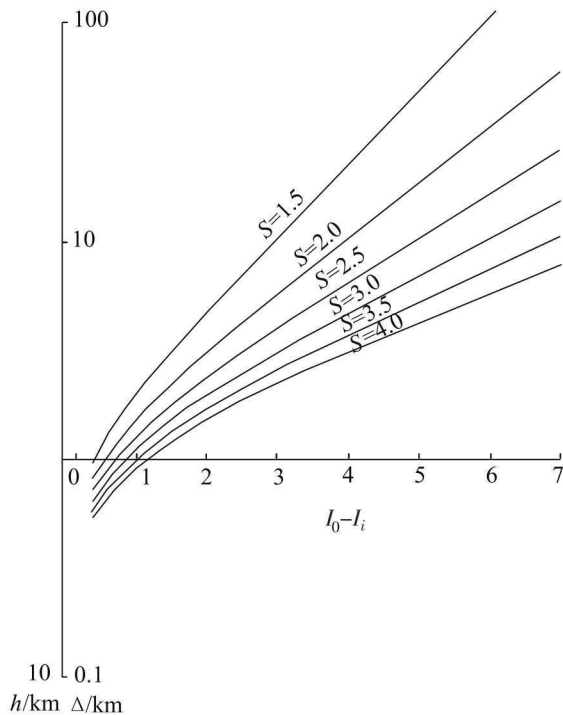


图 1 量版底图

重合的纵横坐标轴。根据许多等震线的数据(自然是同一次地震的数据),令 $x = I_0 - I_i$, $y = \lg \Delta_i$, 那么在透明板上就可得到一系列点。由于(8)式右端两项的差是一常数,可见函数 $y = \lg \Delta_i$ 与函数 $y = \frac{1}{2} \lg [10^{(I_0 - I_i)/S} - 1]$ 是平行的。所以令透明板沿垂直方向移动时,其上的点列与量版底图上的曲线应当重合。此时透明板上的横坐标轴与底图上的横坐标轴间的距离即为 $\lg h$, 量版就是按这种原理制成的。

四、操作方法

不同情况下求 S 和 h 的方法如下:

(1) 已知 Δ_i , $I_0 - I_i$, 测定震源深度 h 和烈度递减系数 S 。将透明板置于量版底图上,并使透明板上的坐标轴重合于底图的坐标轴,按照实验数据在透明板上求得点列 $(I_0 - I_i, \lg \Delta_i)$ 的位置。基于量版底图的半对数坐标,求点列的位置是非常容易的。然后,使透明板沿纵坐标相对于底图移动,直到透明板上的点列与底图上的某一条曲线重合到最好时为止(也可以在各曲线间进行内插)。此时即可从该曲线上读出 S 系数值。而从底图上透明板横坐标轴与底图纵坐标轴交点所在的位置处直接读出深度 h 的数值来。如此,则同时测定了 S 和 h 的数值。

(2) 校正 I_0 。有时震中烈度 I_0 不够可靠,即当我们令透明板沿垂直方向移动时,没有一条曲线能与透明板上的点列重合。此时可使透明板沿水平方向移动(通常移动 0.5 度或 1 度即可),直至透明板上的点列与底图上的某条曲线重合为止,若透明板往左移动,则震中烈度应作相应的降低(往右移动,则震中烈度作相应的升高)。深度 h 和系数 S 的读法同前。

(3) 无震中烈度 I_0 时,求 h 和 S 的方法。设对某次地震有一列等震线平均半径的数据,然后任意估计一个 I_0 值(这一 I_0 值准确与否原则上说是没有关系的),然后沿水平和垂直方向平移,其他操作程序和读数方法均如前述。注意,当 Δ 和 h 标尺同乘以 k 时,量版用法依旧,按照这样的方法测定深度 h 和系数 S 是很简单和省时的。

现有的各种测定震源深度的宏观方法,均假定地震震源为一点圆,介质是均匀的,地震波射线沿直线传播,等震线的形状接近于圆,烈度递降系数 S 对同一次地震来讲为一常数。显然,这些假定具有很大的局限性,只能理解为第一级的近似,因而在测定震源深度时,应当谨慎而小心地使用资料。

五、一些测定结果

笔者在工作中测定了中国一些地震的震源深度和地震烈度递降的系数,结果见下表。

震源深度和烈度衰减系数的测定结果

编号	地震时间	震中烈度 I_0	震源深度 /km	S	烈度差为 $I_0 - I_i$ 的等震线平均半径/km											居民点数	
					1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2		6
河 北																	
1	1655. 4. 16	VIII ⁺	7. 5	1. 4	16		24		54				324				21
2	1679. 9. 2	X ⁺	19	2. 0			38		76		143		244				120
3	1730. 9. 30	VIII ⁺	6	1. 3			27		45				457				41
4	1830. 6. 12	X ⁺	5	1. 5					37		77		173				116
甘 肃																	
5	1654. 7. 21	IX ⁺	30	1. 5	33		84		268		430						56
6	1879. 7. 1	X ⁺	22	2. 0					82		170		265				124
7	1954. 7. 31	VIII ⁺	65	1. 3			110		190		300				675		52
8	1960. 2. 2	VI ⁺	13	1. 5	13		32		61		127						35
云 南																	
9	1588. 8. 9	VIII	20	2. 5		24		47		79		125					9
10	1713. 2. 26	IX	32	3. 0		35		62		95		146			217		17
11	1789. 6. 7	IX	11	1. 7		19		47		82							11
12	1887. 12. 16	IX	5	1. 5		10		25		53		114			207		16
13	1950. 9. 13	VIII	9	2. 1		13		26		45							24
14	1953. 5. 3	VII ⁺	18	2. 8	16		28		48		71						17
其他地方																	
15	1605. 7. 13	X ⁺	21	2. 0			45		86				265				28
16	1668. 7. 25	VII	20	2. 1				60		100		171		302		461	361
17	1815. 10. 22	IX	18	2. 0		25		61		93				347			50
18	1973. 7. 31	IX ⁺	25	2. 1	22		53		89		164						87
19	1959. 7. 10	VI ⁺	24	2. 0	22		45		102								30

由上表及作者在《论确定震源深度的宏观方法》^[4]一文中的计算结果, 作出一个 S 系数的地理分布图(图 2)和 S 系数与震源深度的关系图(图 3)。在图 2 上除标出地震震中外也标出了 S 系数(分子)和震源深度(分母, 单位: 千米)。从图 2 上可以看出, 中国东部地震的 S 系数一般比西部低, 云南中东部地震的震源深度通常不深, S 系数也较东部稍大。从图 3 上可以看出, S 系数随着震源深度的增加而加大, 这一点的确是明显的。

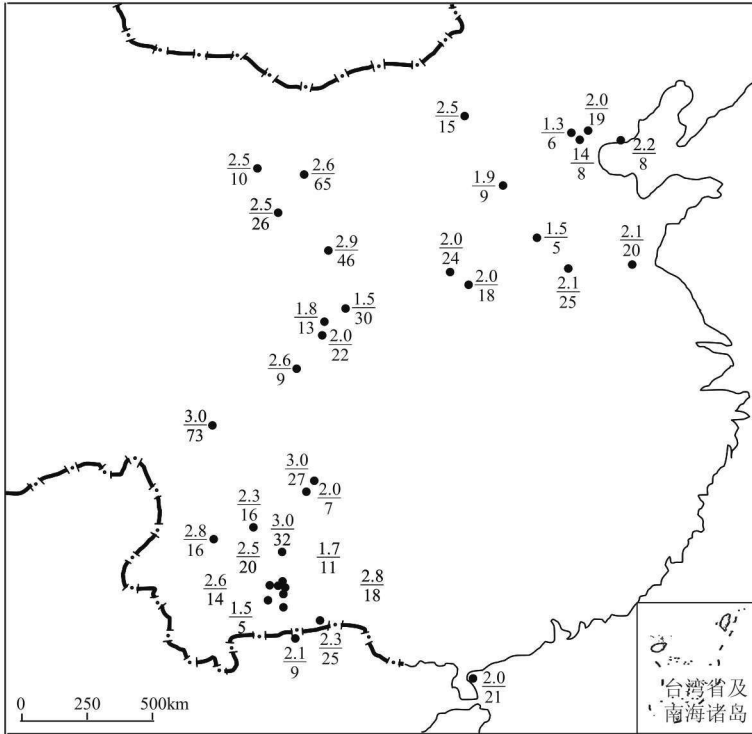


图2 S系数的地理分布图

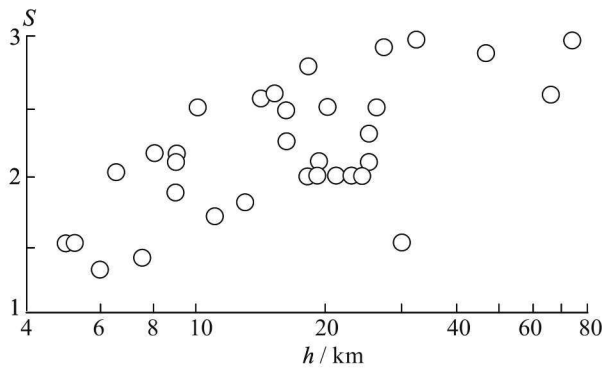
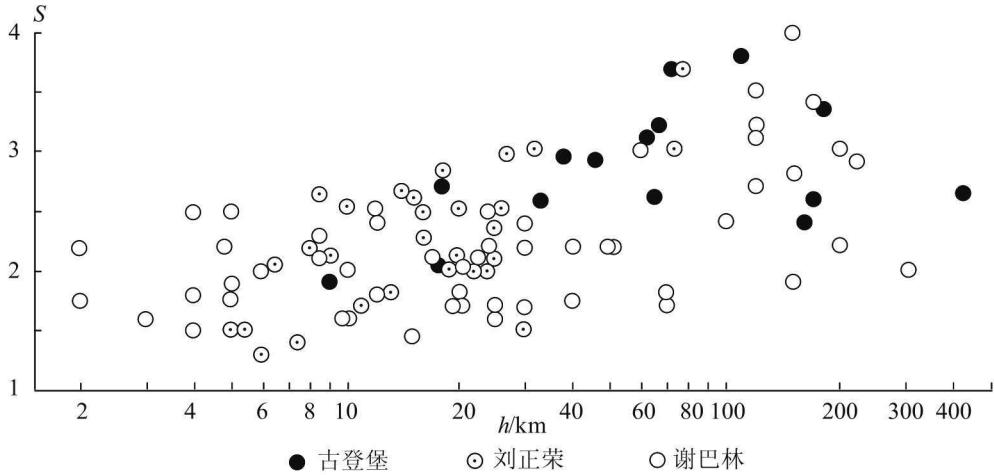


图3 S-h 分布图

我们曾经研究了古登堡和谢巴林的数据^[1]，并用仪器测定震源深度，用宏观资料（等震线半径）测定了S数值，结果如图4所示，根据图4我们还看不出S值和低速层有何明显的联系，然而S系数确随深度增加而加大。古登堡的资料给出S的平均值为3，这是因为他所用的资料中大多数震源深度均较深（大于60千米）。麦德维捷夫所取的S值，是已知的各公式中最大的值，这在很大的程度上是由于他所确定的震中烈度比一般人所确定的高半度。这一点从本书给出的量版上来看是很清楚的，若将震中烈度提高，则所有实验点均往右移动，其结果显然是S的数值加大。

图4 用宏观资料测定的 S 值

最后，作者对傅承义教授在本文写作过程中所给予的指导及李善邦老师的关切深表谢意。

参考文献

[1] Gutenberg B. and Richter C. F. . Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration [J] . Bull. Seism. Soc. Amer. , 1942, 32.

[2] Blake A. . On the Estimation of Focal Depth from Macroseismic Data [J]. Bull. Seism. Soc. Amer. , 1941, 31.

[3] 苏瓦林斯基, 梅世蓉. 关于中国境内地震活动性的研究 [J] . 地球物理学报, 1959, 8 (1) .

[4] 傅承义, 刘正荣. 论确定震源深度的宏观方法 [J] . 科学记录: 新辑, 1960, 4 (5) .

龙陵共轭地震群的特征*

摘要：本文在研究了龙陵地震的特征后指出：龙陵地震是发生在介质相对均匀的区域的一组共轭地震。其基本特征是：两次主震的震级基本相等；两次主震的破裂面基本正交，而与主压力方向约成 45° 夹角，前后两次地震的旋性分别是右旋和左旋，即旋性正好相反。

前震的分布情况研究表明，震源区在震前确有一个膨胀过程。前震分布的范围与余震分布范围大体相当，且可根据前震范围估计主震的震级。

龙陵强余震的时间分布适合经验公式：

$$T = n \left[0.1348 + 0.3579 \frac{(n-1)(2n-1)}{6} \right]$$

式中， T 是以天计的自第一主震起算的时间； n 为余震组的序号。根据这一公式便可求得第 n 组余震发生的时间。

1976年5月29日云南省龙陵县在一天之内相继发生两次强烈地震。第一次地震发生在北京时间20时23分18秒，东经 $98^\circ 38'$ 、北纬 $24^\circ 22'$ ，震级7.3级；第二次地震发生在北京时间22时00分19秒，东经 $98^\circ 45'$ 、北纬 $24^\circ 33'$ ，震级7.4级。两次地震发生的时间相差不多，距离相隔不远，震级大体相同。像这样的地震是不多的。研究它孕育发生的特征，对于了解地震从而预报地震都有相当的参考价值。

本文主要是从地震活动性的角度对龙陵地震进行研究，并试图给出一些解释。

一、腾冲—澜沧地震带

北起泸水，经腾冲、耿马、澜沧南达勐海的地震带，其南北两端实际上已延伸入缅甸境内。这一地震带历史资料不长，但仅从20世纪以来的情况已足以说明这是一条近期强烈活动的地震带(图1)。这一带地震活动的一个明显特征是带内地震常成组发生，如1930年前后中缅交界的泸水发生的10次6~6.5级地震。再者，第四纪以来，岩浆活动比较显著，著名的腾冲火山群亦在带内。据《徐霞客游记》记载，腾冲西北的

* 本文是与晏凤桐共同撰写的。

打鹰山曾在 1609 年喷发过，这说明了岩浆的现代活动情况。虽然在地表还没有发现一条规模、走向与整个地震带相应的断裂系统，但是从明显的地震活动带的存在，也许可以推测地下深处或者已经有断裂系统，只是还没有完全反映到地面上来，或者正在形成一个断裂系统。因此，即便某些地震可能是原有断裂复合的产物，但就此地震带的总体来看，其中一些地震不是老断裂活动的结果也是自然的。联系到地震来说，甚至有可能是一条新的地震带。强烈的龙陵地震即处在这一地震带内。

只就腾冲、龙陵附近来看，历史上共记载了 14 次 5~6.5 级的地震，特别是龙陵陈近最大只发生过 5.5 级的地震。1976 年龙陵地震显然超过了历史地震的水平。

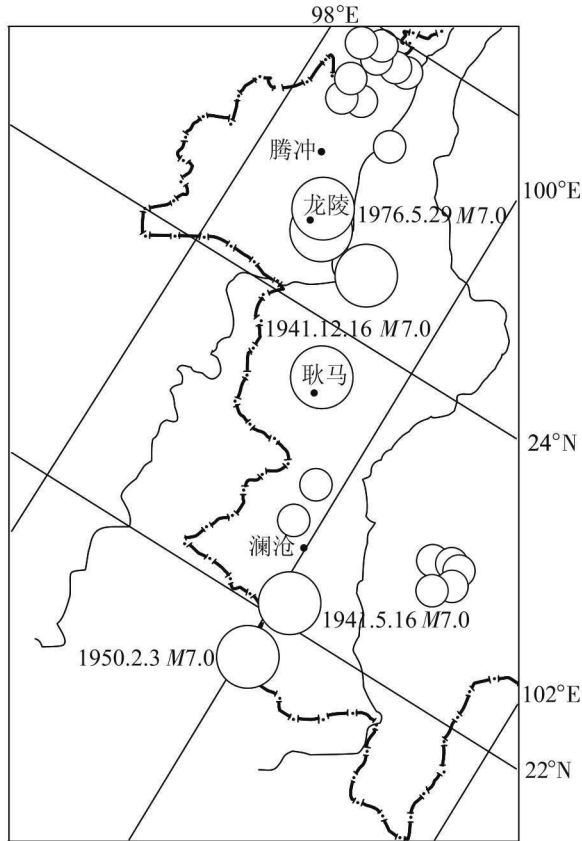


图 1 滇西强震分布图

二、龙陵、腾冲的地震活动

在一些强烈地震发生前的若干年内，常常在后来大震的震中附近有中强地震活动，如 1973 年炉霍地震、1974 年永善—大关地震前均有这种情况。此次龙陵大震前的 1961—1975 年间也有一些中强地震活动(图 2)。1961 年 6 月 12 日腾冲 5.8 级地震是很多年来腾冲、龙陵附近(与后来龙陵大震余震区相应的范围内)较大的地震，后来附近地震活动性的异常似自此时开始。图 2 上绘出了自此以后的地震，异常时间约 15 年。