

我国西南及其邻区强震活动与构造应力场的探讨*

杨光宇
(云南省地震局)

摘要

本文用平面问题的有限元方法,在研究云南地震与应力场关系之后,采用先计算大区域应力场,再计算小区域应力场的分步办法。首先研究我国西南及其邻区强震活动与构造应力场的关系。计算结果说明:(1)由于印度板块不均匀推挤,在特定的边界条件下,是产生我国西南地区应力场复杂性的主要原因。(2)在印度板块的作用下,断块间运动以及板内大范围内应力场调整是西南地区强震活动的主要因素。(3)通过四个八级以上地震(海源、古浪、察隅;印度、尼泊尔)后应力场调整的研究,未来八级地震的地区有可能在川滇藏或缅甸一带。

一、前言

作者在用平面问题有限元方法研究云南七个大震与应力场关系中体会到^[1],力源和边界条件的确定是一个关键性问题,否则计算不真实。为此,这里采用先计算大区域应力场(指川、滇、甘、青、藏),再接着计算小区域应力场(指川、滇)的分步办法,这样计算结果可能会好些。本文作为计算的第一步,初步研究我国西南地区强震活动与构造应力场的关系。第二步研究川滇地区地震与应力场的关系将在另一文讨论。

二、基本特征及其计算说明

为了有目的进行计算,有必要对我国西南地区进行综合分析。通过对现代构造运动,强震活动以及应力场等初步研究,认为有以下几个特征。

(一) 现代构造运动特征

我国西南(即青藏高原)地区具有十分强烈的构造运动。近几年来,国内外学者作了大量的研究工作^[2,3,4,5,6]。莫尔纳等根据卫星图象等资料指出:由于印度次大陆与亚洲连续相撞,中国正在受着挤压,有几个地震带似乎是由于横向滑动产生的。还计算得到印度和欧亚两板块相对运动速度,提出今后印度板块将以5厘米/年的速度向北推进。综

* 1980年6月3日收到初稿,1980年12月23日收修改稿。

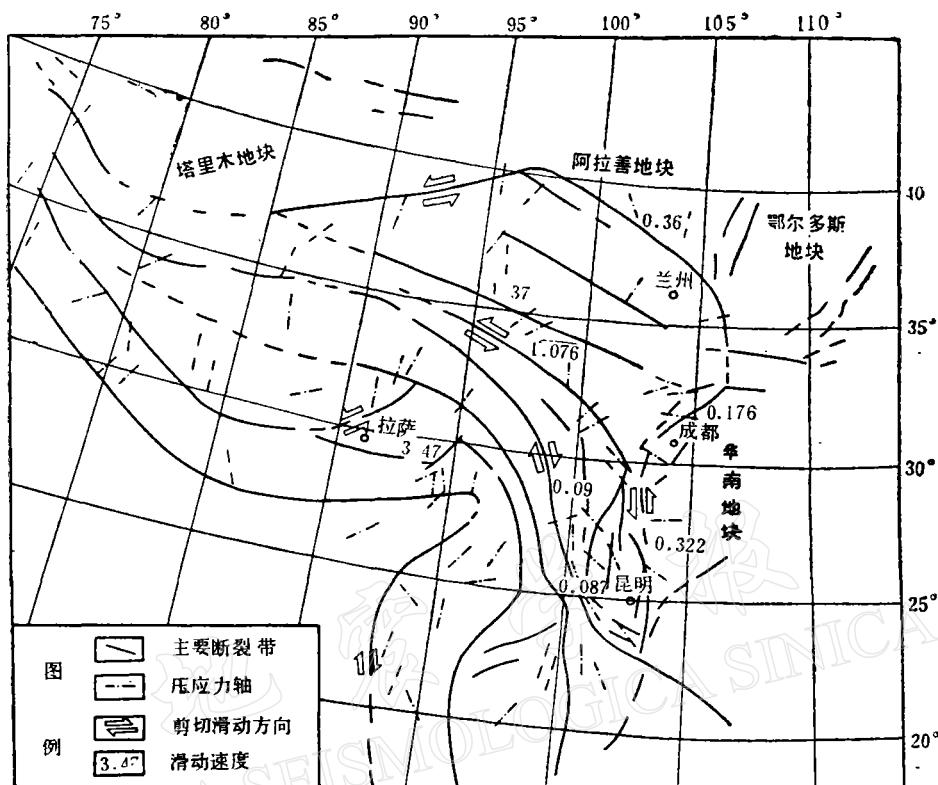


图 1 我国西南及其邻区断块运动、构造应力场示意图

合有关文献认识到,我国西南青藏高原的形成除印度板块长期作用外,还与北部塔里木地块以及东部阿拉善、鄂尔多斯、华南等地块相对稳定有密切关系。于是在板内产生了一系列巨大的向东北凸出弧形构造形迹,与其它地区相比有其地质构造、地震活动以及震源机制明显差异,在地形、地质、地貌上形成了相对独立的构造单元。图 1 就是我国西南及其邻区地质构造格架图(韩源提供)。

因此,在计算中考虑除印度板块推挤外,周围地块构造了特定的边界条件。结合图 1 中主要构造,按有限元要求进行离散化,得到节点 468 个,单元 872 个(见图 2)。

(二) 强震活动特征

我国西南地区地震活动极为强烈。从 1900—1979 年间,大约共发生 $6 \leq M \leq 7, 185$ 次; $7 \leq M \leq 8, 26$ 次; $M \geq 8, 4$ 次;以 7 级以上地震作统计,地震活动期大约分为三个阶段。将西南川滇以及甘青地区地震与印度板块顶撞带的地震对比发现,三者之间存在一种滞后关系(见图 3)。

从图 3 中看出,印度板块顶撞带应力不断积聚,地震活动频繁不断,甘青地区地震活动期比板块顶撞带晚,但比川滇地区明显早。再结合文献 [5] 所作出的块体滑动速度(见图 1),板块顶撞带最大,甘青地块其次,川滇地块最小。这些,说明板内断块间运动以及地震活动性明显受印度板块的影响,并表现滞后关系。

因此,在计算中为了说明这一点,假设印度板块作三次推挤。根据上述划分的三个活

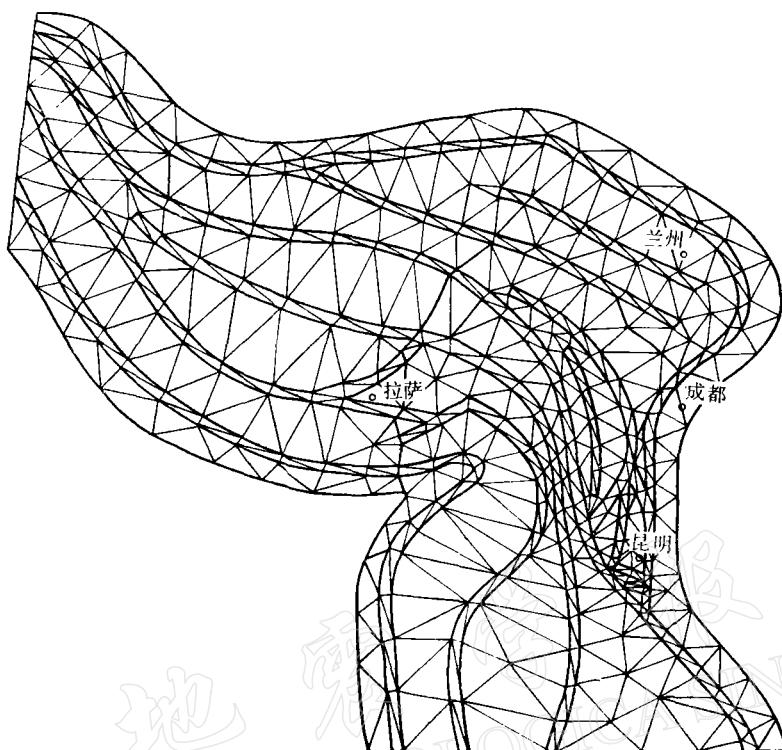


图 2 我国西南地区有限元计算网格图
(图中小粗线区域是下一步将研究山川滇地区)

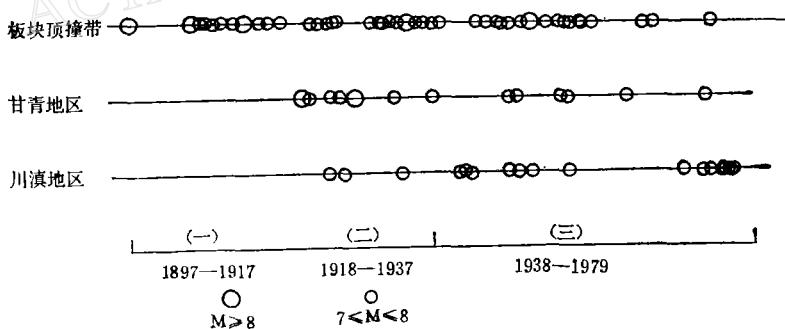


图 3 川滇以及甘青地区与印度板块顶撞带地震对比图

动期,两个20年和一个40年。以5厘米/年计算,应是先20年推进一米,又20年再推进一米,最后40年推进二米。为计算方便,我们将位移用相应的加力来代替(其效果一样)。

(三) 构造应力场特征

大量震源机制资料和部分地表应力解除结果表明,我国大陆存在强大的水平构造应力场。由于印度板块与欧亚板块的顶撞,我国西南地区水平向应力的作用是主要的。震源机制说明我国西南川滇地区应力场的分布是复杂的(见图1)。关于这个问题,莫尔纳用滑线场理论作了计算,文献[6]对整个中国大陆应力场也作了计算,这里作者为了研究,在计算中设置四种模式(见表1)。

表1 研究应力场的四种模式

模 式	边 界 加力 方 向 约 束	北 部 (阿尔金山断裂)	东 部 (龙门山、小江断裂)	印度板块 (N30°E)
I		$x = 0$ $y = 0$	$x = 0$ $y = 0$	均匀加力
II		$x = 0$ $y = 0$	$x = 0$ $y = 0$	不均匀加力
III		$x \neq 0$ $y = 0$	$x = 0$ $y \neq 0$	均匀加力
IV		$x \neq 0$ $y = 0$	$x = 0$ $y \neq 0$	不均匀加力

注： x 、 y 分别代表北和东，0 表示位移为零，否则表示位移自由。

关于板内应力积累和调整问题，文献[5]、[7]作了研究，这里不详细讨论。计算中除三次加力外（印度板块三次推挤），并对四个八级地震进行应力场调整过程的研究，分析其大震后应力场调整变化与地震活动的关系。试图对今后八级大震背景提出见解。

三、计算分析与讨论

整个计算过程，先研究应力场的复杂性（若应力场不符合，下面研究无法进行），得到一种合理的力源和边界条件后，再进行三次加力计算，在最后一次加力的基础上，进行四

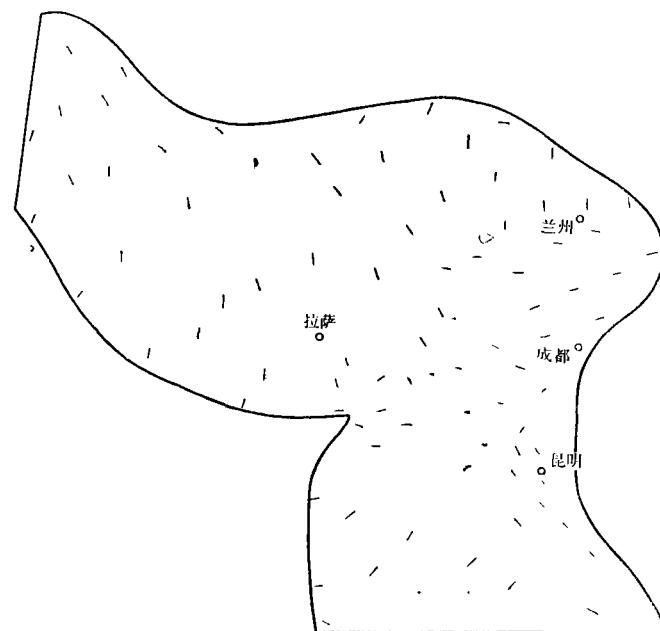


图4 最大主压应力方向分布图(计算值)

个八级地震的应力释放。计算结果初步认识以下几点。

(一) 由于印度板块推动,在特定的边界条件下,是产生我国西南及其邻区应力场复杂性的主要原因。

经过上述四种模式计算后,第(IV)种模式结果最好(见图4)。

从图4与图1对比看出,多数地区最大主压应力方向与震源机制相符合,尤其川滇地区符合较好。计算表明,由于印度板块向N30°E方向不均匀推挤(即喜马拉雅弧边界受力最大,缅甸弧次之,西部和南部再次之),在北部阿尔金山、祁连山等断裂东西方向自由运动,东部龙门山、小江等断裂南北方向自由运动这样特定的边界条件下,造成我国西南地区应力场的复杂性。

(二) 在印度板块的作用下,断块间运动以及板内大范围内应力场调整是我国西南地区强震活动的主要因素。

经过三次加力计算,结合三个相应阶段强震活动,说明我国西南地区(这里指川、滇、甘、青)强震活动明显受印度板块作用的控制(见图5—7)。

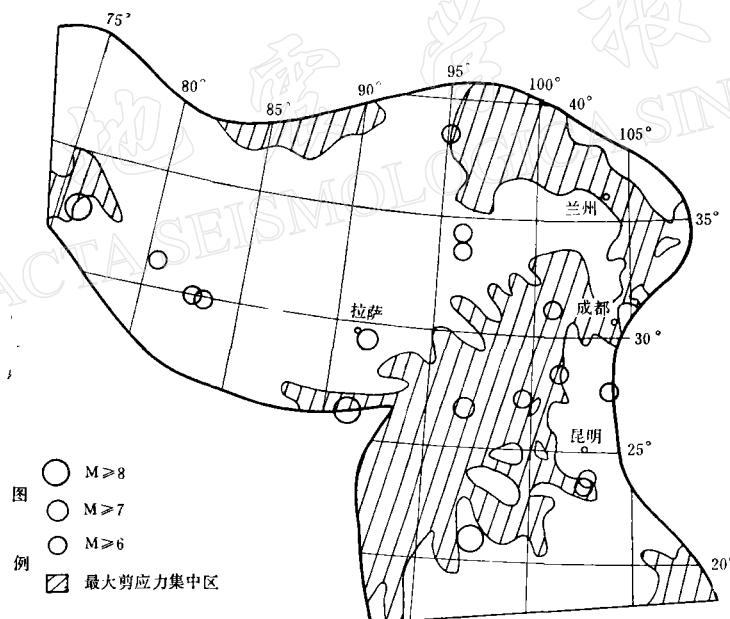


图5 印度板块推挤下最大剪应力场与震中分布图(1897—1917)

从以上三幅图中分析得到,由于印度板块推挤(指三次加力),板内最大剪应力场增加(图中带斜线条地区)主要集中在甘、青、川、滇一带,并有由板块顶撞带到甘青地区再到川滇地区逐步增加的趋势。因此,近80年来大多数强震(包括几次八级地震)主要发生在这些地区。但是也有少数地震并不在上述地区,这是为什么?这将是我们今后面临的新研究课题。

目前我们认为用板内应力场调整来解释较好。可以设想,如果板内不发生破裂,哪怕印度板块再继续推挤,板内应力场集中区不会有根本性变化(光弹实验能说明)。因此,实际并不如此,还有一个板内应力场调整的过程。其中,板块推挤力是主要的,而板内应力

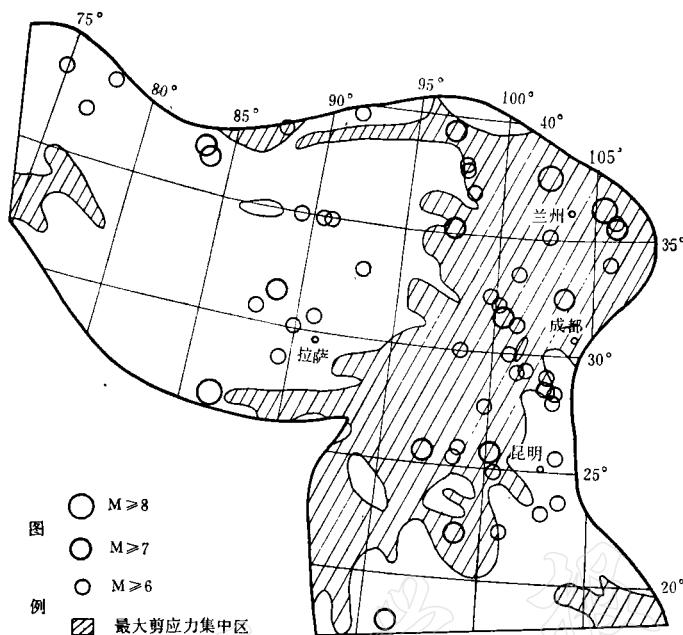


图 6 印度板块推挤下最大剪应力场与震中分布图(1918—1937)

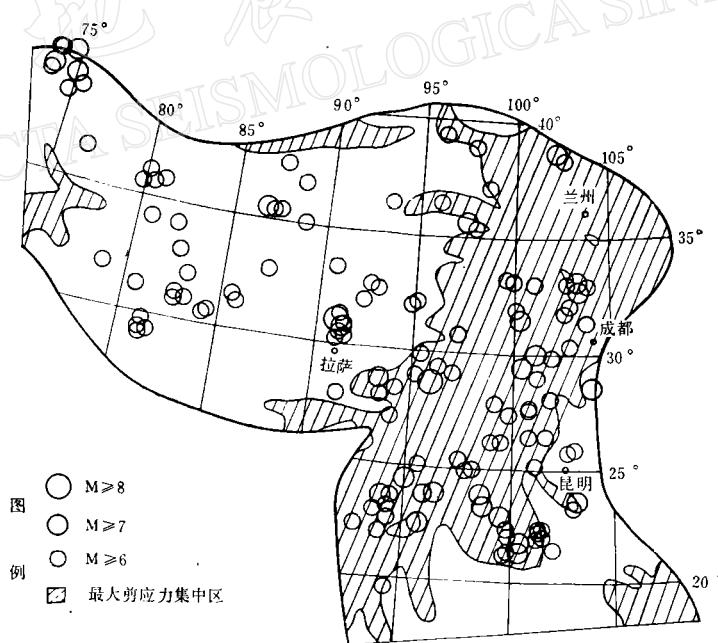


图 7 印度板块推挤下最大剪应力场与震中分布图(1938—1979)

场调整是次要的。所以，两种应力场的迭加便可以认为是我国西南地区强震活动的主要动力来源。经过四个八级地震后应力场调整计算，说明板内应力场调整产生地震是有可能的^[1]。

综合上述，我们认为由于印度板块推动，板内断块间相互运动（这里指水平滑动），再

加上板内大范围内应力场调整(这里指大地震后调整),可能是我国西南地区强震活动的主要因素。

(三) 通过计算表明,只要印度板块继续推挤,我国西南地区应力场的状态将维持下去。甘青或川滇一带仍将是应力场的集中区,由四个八级大震应力场调整计算,以上地区应力又相对集中。因此,未来八级大震将在川、滇、藏交界或缅甸一带可能性较大(1973年2月6日四川炉霍7.9级地震可能得到解释)。

四、结 束 语

总之,计算中问题很多,几点认识也是很粗略的,特别是对未来的八级大震的估计纯属推测。

本文曾得到王仁教授的支持和指导,在云南省地震局韩源等同志帮助下完成,在此,对他们表示深切的谢意。

参 考 文 献

- [1] 杨光宇,云南地震与应力场的初步研究,地震学报,3, 3, 1981.
- [2] P. Molnar, and P. Tapponnier, Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a Continental collision, *Science*, 189, 4201, 419—426, 1975.
- [3] 时振梁等,我国强震活动和板块构造,地质科学,4, 1973.
- [4] 环文林等,中国及邻区现代构造形变特征,地震学报,1, 2, 1979.
- [5] 刘百篪,中国大陆地震的应力调整场动态模型,地震地质,1, 3, 1979.
- [6] 汪素云等,我国及邻区现代构造应力场的数字模拟,地球物理学报,1, 1980.
- [7] 张之孟,我国及邻区板内地震与板缘地震的关系,地震地质,3, 1979.

A STUDY OF STRONG EARTHQUAKES AND THE TECTONIC STRESS FIELD OF SOUTHWESTERN CHINA AND ITS ADJACENT AREAS

YANG GUANGYU

(*Seismological Bureau of Yunnan Province*)

Abstract

The present paper has employed the finite-elements method in association with planes to study the relationships between the tectonic stress field and the earthquake occurrences in Yunnan province. Computations are divided into two steps: first for the stress field of a broad region, then for a smaller one. The relationships between the activities of strong earthquakes in Southwest China and its adjacent areas and the tectonic stress field are dealt with in detail.

The results of the computation indicate: 1) The uneven pushing from the south due to the Indian Plate is the principal cause of the very complicated nature of the tectonic stress field of Southwest China under specific boundary conditions; 2) Under the action of the Indian Plate, relative movements between individual tectonic blocks and large-scale stress field readjustments within the plate are the principal cause of the activities of strong earthquakes in Southwest China; 3) In the light of the study of the readjustment of the stress field during the 4 earthquakes greater than magnitude 8 (the Haiyuan, Gulang, India-Nepal and Chayu earthquakes), the author has got the impression that future earthquakes greater than magnitude 8 are likely to hit the Shichuan-Yunnan-Tibet or the Burma regions.