

Seismic Activity and Seismic Cone Tectonics in Iran Region*

Lijun Chen

Research Center of Earthquake Prevention and Disaster Reduction Engineering of Hunan Province, Changsha Hunan

Email: seisman@foxmail.com

Received: Oct. 16th, 2019; accepted: Oct. 31st, 2019; published: Nov. 7th, 2019

Abstract

In this paper, according to the earthquake catalogue ANSS and EMSC data, using the principle and methods of Seismo-Geothermic Theory, the images were processed such as the planar distribution images and the three-dimensional images of the general earthquakes, subcrustal earthquakes, intracrustal strong earthquakes and volcanic eruption and the sequence diagrams of subcrustal earthquakes of the Iranian Branch of the Mediterranean seismic cone tectonic, as well as the theory explained of their relations with Iranian Epsilon-Shaped Tectonic System, and analyzed the seismicity, item by item, in six major mini seismic cone tectonics, so that giving the trend dotted of seismic activity of warning significance in I01 and I04 mini seismic cone tectonics, worthy of attention.

Keywords

Seismo-Geothermic Theory, Branch of Seismic Cone Tectonic, Mini Seismic Cone Tectonic, Intracrustal Strong Earthquake, Subcrustal Earthquake, Volcano

伊朗地区的地震活动与地震柱构造*

陈立军

湖南省防震减灾工程研究中心, 湖南 长沙

Email: seisman@foxmail.com

收稿日期: 2019年10月16日; 录用日期: 2019年10月31日; 发布日期: 2019年11月7日

摘要

本文根据ANSS和EMSC等地震目录资料, 采用地震地热说的原理和方法, 对地中海地震柱的伊朗地震柱

*作者自主科研项目: 地震地热说。

分支进行数据处理,做出了伊朗地震柱分支的总体地震、壳下地震、壳内强震和火山活动的平面分布图像、三维立体图像、壳下地震时序图,以及它们与伊朗山字型构造体系关系的理论解释,对研究区内6个主要地震子柱构造逐项分析,并就I01和I04地震子柱构造时序图给出了壳下地震活动具有警示意义的趋势虚线,值得关注。

关键词

地震地热说,地震柱构造分支,地震子柱构造,壳内强震,壳下地震,火山

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球地震学界在地震与火山的预测领域有两大主流学派,一是所谓的板块构造学,一是地震的断层成因说。前者将地震与火山成因归结于板块的碰撞,但是并不知道碰撞的能量从何而来,也不知道板块何时会碰撞,因而陷入了地震不可知论。后者将地震成因归结于断层的闭锁与解锁,同样不知道闭锁的能量从何而来,也无法理解解锁的突发性,因而也陷入了地震不可知论。二者的共同点在于将地震与火山的成因归结于地表构造运动使然。譬如医学界,如果只是依靠皮肤的动态来研究皮肤病,这样的话,带状疱疹与红斑狼疮将始终无解。这方面的参考文献比比皆是,因而从略。

作者(陈立军,2012)所提出的地震地热说[1][2][3][4]基于地震柱构造的平台,解决了地震与火山成因上的能源问题,并且以壳下地震活动为表征的地震柱构造运动解决了地震与火山灾难的突发性问题,因而在预测方面大大地前进了一步。地震地热说原理认为,全球90%以上的壳内强震与火山活动,都是源于地球深部的热能沿着地震柱构造自下而上逐层积累、逐层驱动,以致最后驱动地表构造运动突发的结果。地震柱构造是依据高精度地震目录的震源深度资料所划分的全球24个倒立的直下型圆锥体,最大深度200~650 km,是地震地热说的物质基础和能源平台。地震子柱构造则是能够独立控制自身影响区内壳内强震与火山活动规律的个体,是地震柱构造的最小地质构造单元。

本文运用地震地热说原理与工作方法,研究伊朗的强地震活动与地震柱构造的关系。地中海地区是全球第19号地中海地震柱构造,也是全球死亡地震(造成1000人以上死亡的)最为密集的地区之一(图1)。地中海地震柱又划分为19-1号意大利地震柱分支、19-2号土耳其地震柱分支和19-3号伊朗地震柱分支。作者运用地震地热说原理,曾经讨论过前面两个分支[5]-[11]。本文专论19-3号伊朗地震柱构造分支。该地震柱分支位于25°N~50°N,38°E~65°E,涉及伊朗、阿塞拜疆和土库曼斯坦的全境,以及伊拉克、土耳其、俄罗斯、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、阿富汗和巴基斯坦的相邻区域(图2)。

本文研究结果表明,地震子柱构造内壳下地震活动的时空特征具有重大的警示意义,或许能够成为地震与火山预测的突破口。

2. 资料整理与分析处理方法

2.1. 地震目录的选取

地震地热说的研究原理与方法,完全依赖于具有高精度震源深度资料的地震目录。为此,本文采用从公网上获取并整理的2套地震目录[12]。其中包括:

ANSS 复合地震目录(ComCat), 来自北加利福尼亚地震数据中心(Northern California Earthquake Data Center), 时段 1963~2019.5, 共计包括全球 4 级以上地震记录 456,888 条。网址包括 <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (2004 年以前)和 <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/#site-sectionnav> (2004 年及以后)。

EMSC 地震目录来自欧洲-地中海地震中心(The European-Mediterranean Seismological Centre), 时段 2004.10~2019.5, 主要包含经度 -40° 至 110° E 地区, 其中 $0\sim 39^{\circ}$ E 地区震级 1 级以上, 其它地区 2-3 级以上, 共计 241,545 个地震记录。网址 <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes>。

2.2. 关于震源深度

关于地震震源深度的精度, 可以从 ANSS 地震目录获得[12]。ANSS 目录包含全球 4 级以上地震, 大量地震的深度测定误差均在几公里的量级, 个别偏远地区深部地震的深度误差可达 20 多公里。以上 2 套地震目录中相同地震的震源深度基本吻合。我们所需要得到的并非是震源的绝对深度, 而是要从理论和方法上将 $0\sim 650$ km 深度的地震活动合理地离散开来, 即相对震源深度。

2.3. 地震目录的适用性分析

由 2 个地震目录所采集的研究区地震集分档统计见表 1。由表 1 可见:

- 1) 两个地震目录所描述的震源深度, 4 级以上的地震基本一致。4 级以下地震的最大深度可达 384 km。
- 2) ANSS 目录的 4 级以上地震数量偏少, EMSC 目录 3 级以下地震有所偏置, 只能两套地震目录彼此参照。
- 3) 鉴于目前地震目录的科技水平, 地震地热说当前最为关注的是未来壳内强震活动的时间和地点, 暂不考虑能量关系, 因此不对相关地震集的震级-频度关系做过分要求。

Table 1. Statistics of the Iranian branch of seismic cone tectonic No.19-3 from earthquake catalogues

表 1. 由不同地震目录所采集的伊朗地震柱分支地震统计表

地震目录	震级下限 Mmin	震级上限 Mmax	频次	最大震源深度 Hmax (km)
ANSS 目录	4	7.7	8612	183
	5		1147	164
	6		94	80
	7		12	80
EMSC 目录	1	7.8	33,632	384
	2		32,757	384
	3		18,037	384
	4		3535	250
	5		321	148
	6		23	87
	7		4	87

2.4. 资料分析处理方法

目前, 地震预测首要解决的问题是地震的成因到底是在地球的外部、地球的地表, 还是地球的内部? 地震最为本质的前兆信息到底是什么? 为此, 地震地热说依赖地震柱构造和地震子柱构造为平台, 发现了大量与地震预测相关的构造信息。

地震地热说的分析方法, 首先按照地震柱构造定义选取研究区的地震目录, 然后采用地震与火山活动的平面分布、三维立体分布和震源深度时序分布分别研究地震柱构造的总体活动特征以及区内可分离的地震子柱构造的活动特征, 总结以往事件的前兆信息并为后续事件的预测提供工作方法与经验。在原始数据同等精度的前提下, 本方法的工作结果是唯一的, 可重复的。

3. 伊朗地震柱分支构造的一般性描述

作者曾于 2011 年讨论过地中海地震柱的总体特征及伊朗分支的壳内强震与火山的活动[10] [11], 本文在此基础上作进一步的阐述。

3.1. 伊朗地震柱分支的地震与火山分布

3.1.1. 依据 ANSS 地震目录的分析

由 ANSS 地震目录所产生的地震平面分布图如图 2 所示。图内包括总体地震、壳下地震和壳内强震, 还包括一座活火山, TAFTAN 火山。壳下地震指震源深度在全球平均地壳厚度 35 km 以上的地震, 壳内强震指 6.8 级以上的壳内地震。

地震活动的主体地区涉及伊朗、阿塞拜疆和土库曼斯坦的全境。伊朗西北部的强震与土耳其接壤, 中西部的强震与伊拉克交界。乌兹别克斯坦的强震独立于主体活动区之外, 可能与 18 号兴都库什地震柱构造更加贴近。

除 ANSS 地震目录以外, 还根据中国的相关地震资料补充了 2 个 7 级强震, 一个是 1990 年 6 月 20 日的伊朗鲁德巴尔(Rudbar) 7.3 级地震[13], 一个是 2003 年 12 月 26 日伊朗巴姆(Bam) 7.0 级地震[14]。

如此, 共计 14 个 6.8 级以上壳内强震以及 3 个中深源强震, 详见表 2。

Table 2. Statistics of the Iranian branch of seismic cone tectonic No. 19-3 from earthquake catalogues

表 2. 由不同地震目录所采集的伊朗地震柱分支地震统计表

	时间	东经°E	北纬°N	深度(km)	震级	分区	参考地名
1	1968.665	59.02	33.96	-13	7.3	I04	Ferdows
2	1972.273	52.82	28.43	-33	6.9	I03	Fars
3	1976.268	63.77	40.31	-33	7.0	I07	Bokhara
4	1976.375	63.47	40.38	-10	7.0	I07	Bokhara
5	1976.898	44.02	39.12	-36	7.3	I01	Khowy
6	1977.219	56.39	27.60	-29	6.9	I03	Abbas
7	1978.709	57.43	33.38	-33	7.4	I04	Dayhuk
8	1979.906	59.72	33.96	-10	7.1	I04	Ferdows
9	19900620	49.4	36.8167	-10	7.3	I05	Rudbar
10	1997.354	59.80	33.82	-10	7.3	I04	Ghean-Birjiand
11	2000.901	49.94	40.24	-50	6.8	I06	Baki
12	2000.931	54.79	39.56	-30	7.0	I06	Nebit Dag
13	20031226	58.3333	29.0	-10	7.0	I03	Bam
14	2011.049	63.951	28.777	-68	7.2	I03	Khash
15	2011.809	43.508	38.721	-18	7.1	I01	Van
16	2013.289	61.996	28.033	-80	7.7	I03	Khash
17	2017.865	45.9592	34.9109	-19	7.3	I02	Halabjah

东南角 61°E 以东地区有一个火山活动区, TAFTAN 火山, 位于 28.60°N 61.13°E , 1993 年 4 月 25 日喷发过, 喷发强度不祥[15], 推测其喷发强度指数 $\text{VEI} < 2$ 。2011 年和 2013 年两次震源深度在 80 km 左右的 7 级强震或许与这个火山区的活动有关。

3.1.2. 依据 EMSC 地震目录的分析

由 EMSC 地震目录所产生的地震平面分布图如图 3 所示。图内包括总体地震、壳下地震和壳内强震。地震活动的主体地区与图 2 一致。

EMSC 地震目录监测的主体地区在东经 40° 以西, 对本文研究区的西部只有少量 2 级以下的地震, 东部则只有 3 级以上的地震。这种监测能力的不均匀, 显然为研究工作构成一定难度。

3.1.3. 伊朗地震柱分支的地震平面分布特征

由图 2 和图 3 可见, 研究区内的平面分布具有两个明显特征, 一是存在多个壳内地震和壳下地震的密集区, 二是密集区又呈现某种条带分布。为此, 本文划分了 I01-I07 共 7 个密集区, 发现 I01-I03 区由东土耳其到波斯湾沿着扎格罗斯山脉构成一个弧线型条带, 而 I04-I06 区则从高加索至伊朗高原构成一个直线型的条带, 唯有 I07 区自身度外。

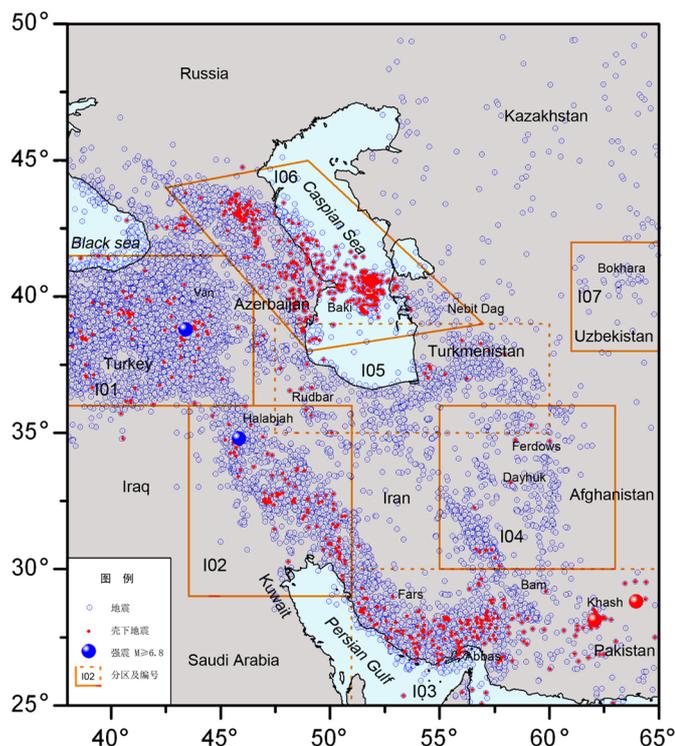


Figure 3. The seismic distribution of the Iranian branch of seismic cone tectonic No.19-3 (From EMSC catalogue, 2004.10-2019.5, $M \geq 1.0$)

图 3. 伊朗地震柱分支的地震分布(据 EMSC 地震目录, 2004.10~2019.5, $M \geq 1.0$)

由图 2 和图 3 还可看到, 壳内地震和壳下地震的密集区几乎重叠, 而壳下地震的密集区则略小于壳内地震密集区, 最大震源深度可达 384 km, 表明从地表到地下深部的地震活动是直下型的, 由此构成了一个个倒立的圆锥体, 即地震子柱构造(详后)。

图 2 和图 3 的地震分布特征, 运用李四光先生的地质力学能得到很好的解释[16]。图 4 摘编自李四光先生的大幅全球插图。李四光先生对这个山字型构造作了详细描述, 可惜并没有给它起名, 本文姑且将

其称为伊朗山字型构造。伊朗山字型构造是全球的巨型山字型构造之一，渐新统的地层皆被卷入。对比图 2 和图 3，本区的主体地震活动分布的弧形带与山字型西翼的扎格罗斯弧形褶皱带相吻合(红色线条)，直线带与高加索至伊朗盾地的直线型褶皱带相吻合(橘色线条)。山字型的弧顶位于波斯湾的海底之下，深度可达 96 km。TAFTAN 火山即处在弧顶区域之内。由是观之，地震地热说与地质力学的结合应该是一种完美的结合。

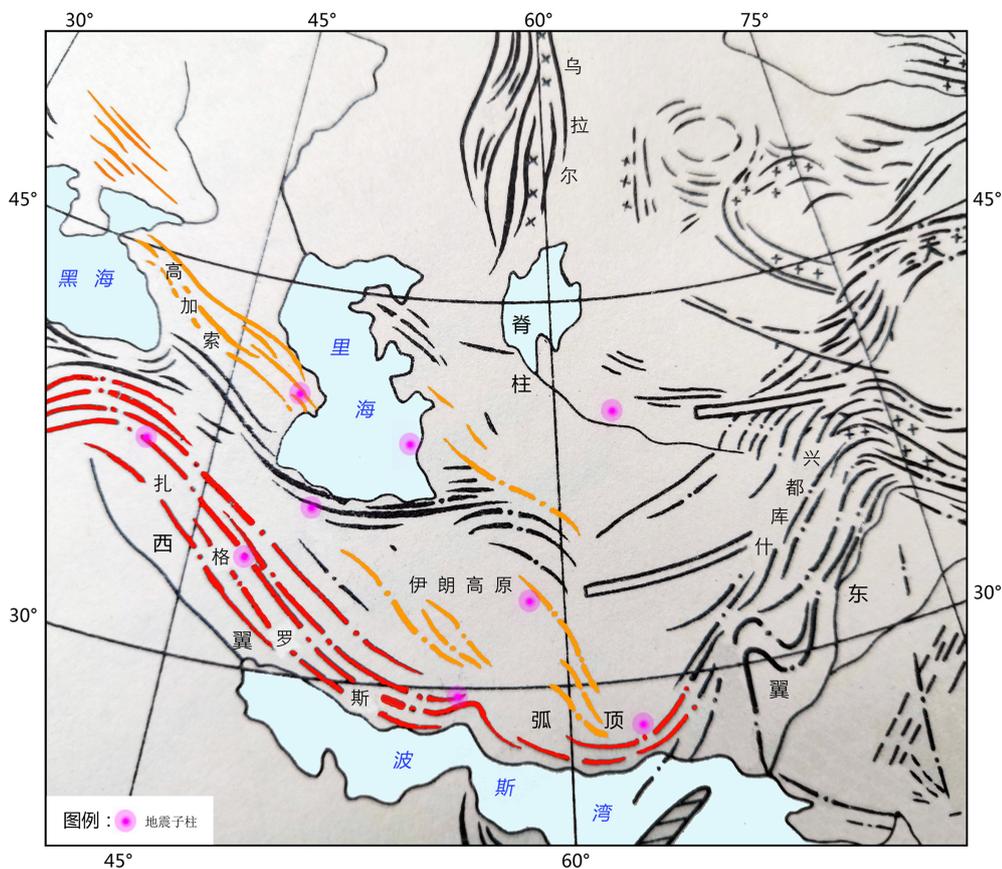


Figure 4. The schematic diagram of the distribution of the Iranian epsilon-shaped tectonic system and mini seismic cone tectonics (Excerpts from Li Siguang's <Geomechanics> [16])

图 4. 伊朗山字型构造与地震子柱分布简图(据李四光《地质力学概论》[16]摘编)

3.2. 伊朗地震柱分支的三维立体图像

地震柱构造的三维立体图像，可以直观地展示壳内地震与壳下地震的相互关系，给人以视觉的感受。壳内地震与壳下地震的关系是一种重要的地质现象。地壳以下，随着深度的增加，温度和压力的变化和物质的相变，已经越来越不是弹性力学的范畴，因而也不能用壳内地震活动的观念来看待壳内地震与地幔深部地震的相互关系。

3.2.1. 依据 ANSS 地震目录的三维图像

依据 ANSS 地震目录的伊朗地震柱分支三维立体图像如图 5 所示。由图可见，壳内地震与壳下地震均为直下型的柱状形态，深部地震均各有归属，互不干扰，只是由于研究区内强震密布而难以区分。由此可见，壳内强震与深部地震活动依依相息，密不可分，自然令人们联想到深部地震活动是否能为壳内强震提供前兆信息。

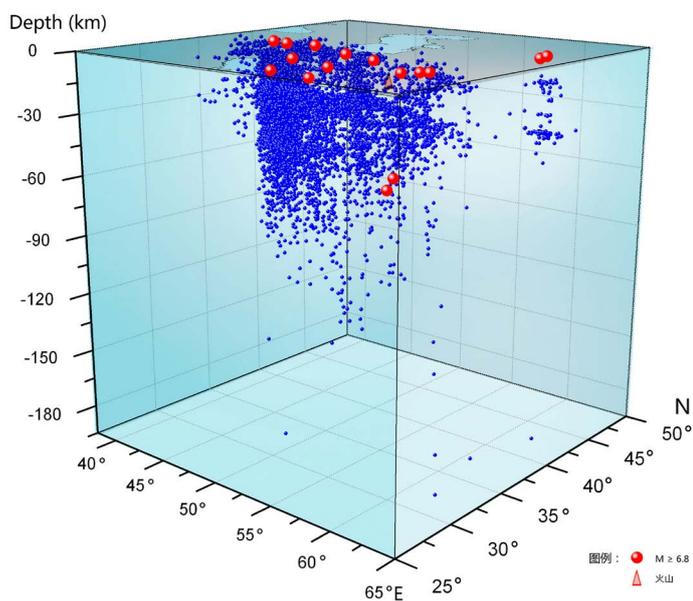


Figure 5. The three-dimensional image of the Iranian branch of seismic cone tectonic No.19-3 from ANSS seismic catalogue (1963-2019.5, $M \geq 4.0$)

图 5. 伊朗地震柱分支依据 ANSS 地震目录的三维立体图像(1963~2019.5, $M \geq 4.0$)

3.2.2. 依据 EMSC 地震目录的三维图像

依据 EMSC 地震目录的伊朗地震柱分支三维立体图像如图 6 所示。由于该地震目录可以监测到 4 级以下的地震，因而震源深度比图 5 大大加深，达 350 km 以上。2004 年有地震目录至今，研究区内只有 2 次壳内强震活动，因而深部的地震也不是十分活跃。60°E 以东地区有火山活动，然而监测到的地震活动极少，显然这里的地震监测能力不足。

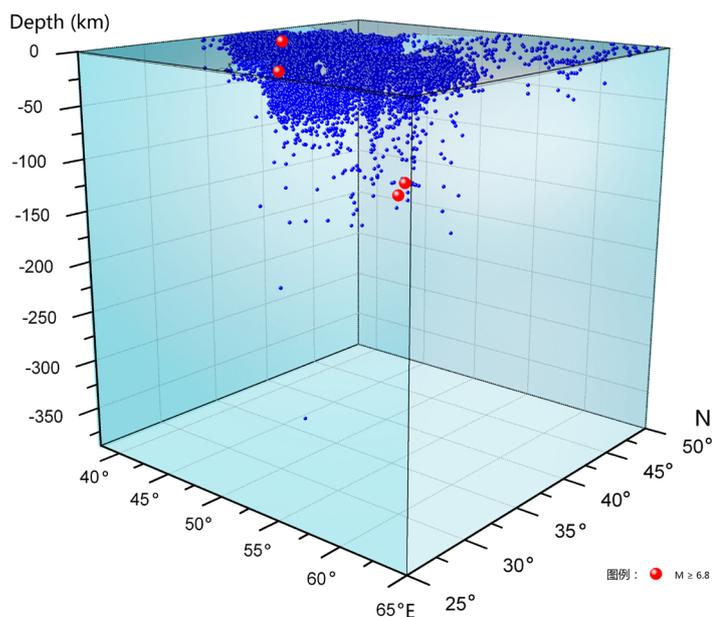


Figure 6. The three-dimensional image of the Iranian Branch of Seismic Cone Tectonic No. 19-3 from EMSC seismic catalogue (2004-2019.5, $M \geq 3.0$)

图 6. 伊朗地震柱分支依据 EMSC 地震目录的三维立体图像(2004~2019.5, $M \geq 3.0$)

3.2.3. 伊朗地震柱分支的三维立体分布特征

由图 5 和图 6 可见, 伊朗地震柱分支的三维立体分布呈现明显的直下型特征。众所周知, 壳下地震所释放的能量是无法耗散的, 越往深部越是如此, 因而只能将能量存储到上部的地层之内, 逐层累积, 逐层驱动, 直至壳内释放。换句话说, 壳下地震应该是壳内强震与火山活动的能源供给者。在意大利[5]和厄瓜多尔[17]的火山区下部 50~150 km 的深度内, 曾经发现疑似的熔岩囊(储能囊), 囊内缺失壳下地震活动, 就是很好的例子。

面对图 5 和图 6 的画面, 让人联想到地震地热说所设想的“开水试验”[2]。如果将图中的方盒子假想为一个烧杯, 装满水, 置于平板热源上。当温度适当时, 杯底会出现气泡, 随即破裂。随着水温升高, 气泡不断地上升-破裂, 水面渐渐变形。当气泡能够上升到近水面时进入“响水不开”的阶段, 随后就沸腾了。图 5 和图 6 的壳下地震类似于气泡的上升, 地震和火山的时间预测就是要寻找“响水不开”的时机, 可以通过地震柱构造震源深度时序图的趋势线加以判定, 也可以通过譬如地应力、地形变、电磁波、深井水位、水氡等观测资料的异常复位以及宏观异常加以辅助判定。

仔细观察开水试验, 可以发现地震柱构造、地震子柱构造的模拟, 甚至可以观察到本尼奥夫剖面。解释开水试验的原理, 需要《空化与空泡动力学》的原理和方法。空泡动力学或许可以解释开水实验中“气泡”(壳下地震)的成核、生长、移动和溃灭的机制, 也可能寻找并解释开水“沸腾”(壳内强震或火山)的发生机制。作者曾得到张宇宁先生的推荐, 找到了 C.E. Brennen 先生的网络版教材[18], 并勉力节译了前 3 章[19]-[32], 以为借此可以揭示地震柱构造的工作机理, 或许能为深源地震的机制研究找到新的出路。

3.3. 伊朗地震柱分支的震源深度时序图

震源深度时序图用于研究深度的时序特征, 类似于地震预报中常用的 M-t 图或 M-N 图, 是最为简洁直观的描述方法。所不同的是, M-t 图所展示的是地震序列的时间效应, 往往是一个衰减过程, 而震源深度时序图所展示的则是壳下地震的空间效应, 往往是一个自下而上的能量增长过程。震源深度时序图可以描述壳下地震是如何开始的, 如何逐层驱动的, 以及驱动壳内构造从而发生灾变的大致时间点。

3.3.1. 依据 ANSS 地震目录的震源深度时序图

依据 ANSS 地震目录的伊朗地震柱分支震源深度时序图如图 7 所示。图中 2004 年以后的地震密度增加, 可能与该目录在 2004 年改进了地震参数测定方法、提高了壳内地震与壳下地震的分辨率有关。但是, 在 2004 年前后, 深度时序图并没有出现明显的系统偏离, 表明震源深度的测定技术已经日臻完善。

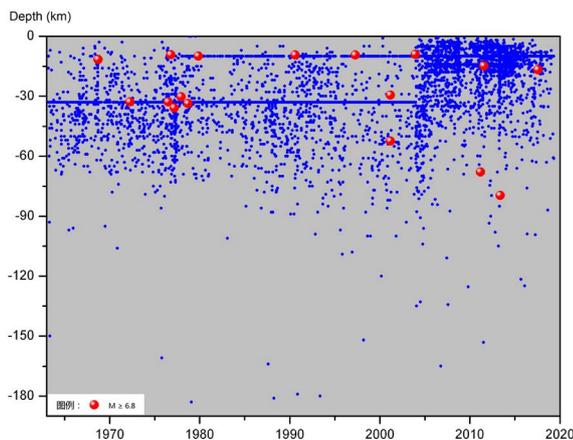


Figure 7. The source depth sequence of the Iranian branch of seismic cone tectonic No.19-3 from ANSS earthquake catalogue (1963-2019.5, $M \geq 4.0$)

图 7. 伊朗地震柱分支依据 ANSS 地震目录的三维立体图像(1963~2019.5, $M \geq 4.0$)

由图 7 可见, 研究区内的地震活动呈现一定的韵律, 由深部到地表, 都存在疏密相间的特征。自 1963 年至 2019 年, 大致经历了 3 次较为密集的活动, 相间 20 年左右。每次活动高潮期内, 还会包括小的间隔。但是, 由于本区壳内强震活动密集, 对壳内地震和壳下地震活动的关联很难加以区分, 只能留待地震子柱构造的研究中加以解决。

3.3.2. 依据 EMSC 地震目录的震源深度时序图

依据 EMSC 地震目录的伊朗地震柱分支震源深度时序图如图 8 所示。图 8 上的 2 次壳内强震, 即 2011 年伊朗与土耳其边界的凡城(Van) 7.1 级地震和 2017 年伊朗与伊拉克边界的哈莱卜杰(Halabjah) 7.3 级地震之前(表 2), 壳下地震活动似乎都存在某种趋势线, 可以直接指向未来的强震活动时间点。但是, 由于该目录生成时间不长, 还有待后续验证。

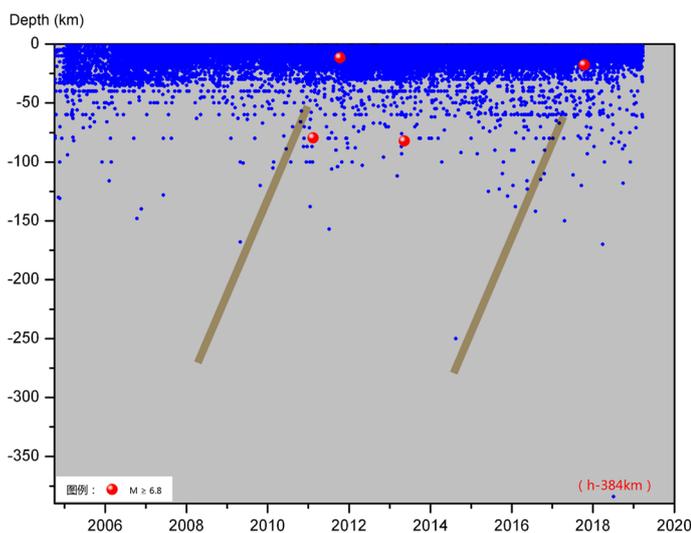


Figure 8. The source depth sequence of the Iranian branch of seismic cone tectonic No.19-3 from EMSC earthquake catalogue (2004-2019.5, $M \geq 3.0$)

图 8. 伊朗地震柱分支依据 EMSC 地震目录的三维立体图像(2004-2019.5, $M \geq 3.0$)

至于 2011 年和 2013 年深度为 80 km 左右的两次 7 级强震, 发生在火山活动区, 或者因为监测能力不够, 或者本来那里的壳下地震不多, 因此暂时无法判断它们与壳下地震活动的某种联系及其与火山活动的关系。

3.3.3. 伊朗地震柱分支震源深度时序图的特征分析

伊朗地震柱分支震源深度时序图的韵律特征, 形象地表明了壳下地震的活动节律, 与作者所做的其他地区研究结果具有较好的一致性[3] [33] [34] [35]。作者将这种韵律称为“地幔年代际振荡”(Mantle Decadal Oscillation, 简称 MDO)或者年际振荡[36] [37]。上世纪末, Steven R. Hare (1996)发现了“拉马德雷”现象(La Madre, 希腊语意为母亲), 在气象学和海洋学上称为“太平洋十年涛动”(Pacific Decadal Oscillation, 简称 PDO)。作者在处理地震柱构造的资料时, 也发现了大量类似的拉马德雷现象。年代际振荡节律有 18 年左右的, 也有 10 左右的, 年际振荡有几年的, 甚至几个月的(南美洲)。总体看来, 这种振荡似乎与星际有关, 比如地球自转速率、极移、太阳黑子、月地关系等, 应该属于外因作用。内因则是各个地震柱构造的储能丰度, 包括温度和压强, 以壳下地震活动的频度和强度为表征。外因是通过内因起作用的, 因此各个地震柱构造的韵律反应不一。震源深度时序图的韵律特征, 是提取壳内强震或火山活动时间域信息的重要依据。

4. 伊朗地震柱分支的地震子柱构造研究

本文研究区内壳内强震频发，以至于前面的区域图像呈现某种混沌状态，分别对各个地震子柱构造加以研究，或许能有所发现。

地震子柱构造，是能够独立控制自身影响区内的壳内强震或火山活动规律及其与壳下地震关系的构造实体，是地震柱构造内的最小地质构造单元。

ANSS 地震目录和 EMSC 地震目录对 1-6 号地震子柱的监测情况如表 3 所示。I07 号地震子柱地震数目太少，未予列入，下面也不做专题讨论。

Table 3. Seismic statistics of I01-I06 mini seismic cone tectonics from ANSS catalogue and EMSC catalogue

表 3. 由 ANSS 目录和 EMSC 目录所采集的 I01-I06 号地震子柱构造的地震统计表

子柱名称	起始震级	据 ANSS 地震目录			据 EMSC 地震目录			强震 M6.8+			
		Mmax	总数	壳下	深度	Mmax	总数		壳下	深度	
I01	1	7.3				7.2	23596	84	250	1976, M7.3 2011, M7.1	
	2						22723	84	250		
	3						8411	45	250		
	4		1155	131	86		584	10	250		
	5		144	22	65		41	2	50		
	6		12	2	38		3	0	10		
	7			2	1	36		1	0		10
I02	1	7.3				7.3	2369	93	384	2017, M7.3	
	2						2368	93	384		
	3						2190	93	384		
	4		1781	390	152		715	81	100		
	5		200	70	77		67	8	100		
	6		8	0	33		4	0	24		
	7			1	0	19		1	0		24
I03	2	7.7				7.8	2598	192	142	1972, M6.9 1977, M6.9 2003, M7.0 2011, M7.2 2013, M7.7	
	3						2570	187	131		
	4		2846	482	183		1055	160	131		
	5		403	104	164		117	30	120		
	6		26	7	80		10	3	87		
	7			3	2	80		2	2		87
	I04	3	7.4				6.3	996	11		48
4			689	53	72		340	11	48		
5			117	10	64		28	5	48		
6			18	0	33		4	0	18		
7				4	0	33					
I05	2	7.3				7.3	1006	33	106	1990, M7.3	
	3						1003	32	106		
	4		752	76	86		293	15	80		
	5		90	17	71		14	2	66		
	6		10	2	52						
	7			1	0	10		1	0		10

Continued

I06	1	7.0			5.8	2066	396	170	2000, M6.8 2000, M7.0
	2					2066	396	170	
	3					1984	393	170	
	4	898	258	164.9		356	88	157	
	5	133	51	150		33	8	148	
	6	13	6	54					
	7	1	0	30					

4.1. 伊朗地震柱分支的 I01 地震子柱构造

I01 地震子柱构造位于伊朗与土耳其边界部位(38°E~46.5°E, 36°N~41.5°N), 处在伊朗山字型西侧的反射弧部位, 构造应力容易积聚, 强震频发。

4.1.1. I01 地震子柱构造的三维立体图像

I01 地震子柱构造的三维立体图像如图 9 所示。左图据 ANSS 的 4 级以上目录, 右图据 EMSC 目录(下同)。由图可见, I01 子柱构造具有柱形结构, 左图震源深度为 86 km, 右图为 250 km。1976 年的 7.3 级地震深度 36 km, 似乎显示该地震子柱构造的地壳底部也有强震活动, 但也不排除是深度测定误差。

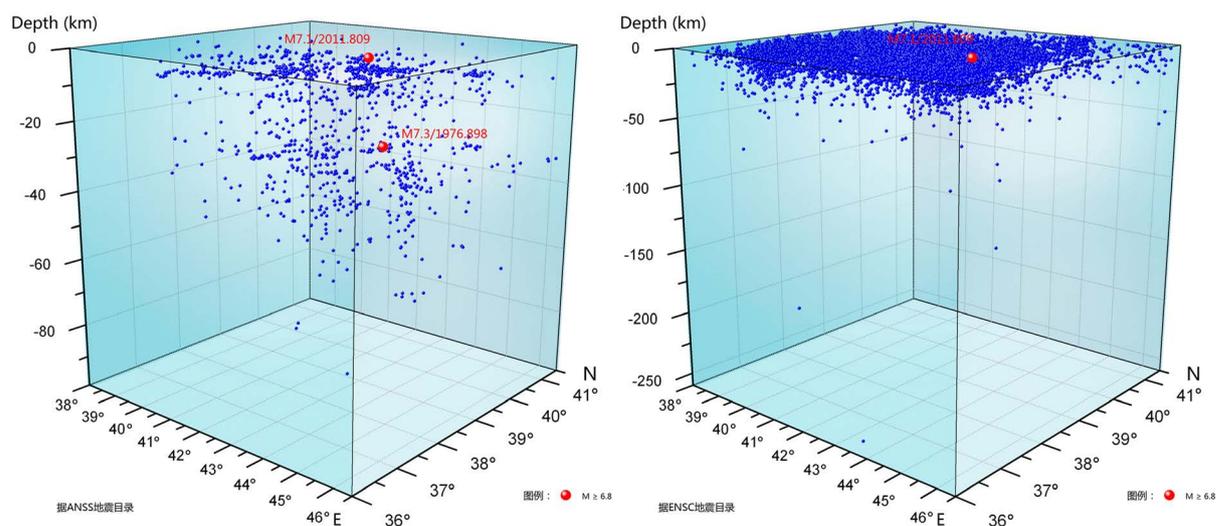


Figure 9. The primary model of I01 Mini Seismic Cone Tectonic
图 9. I01 地震子柱构造的初级模型

4.1.2. I01 地震子柱构造的震源深度时序图

I01 地震子柱构造的震源深度时序图如图 10 所示。左图据 ANSS 的 4 级以上目录, 右图据 EMSC 目录(下同)。两部目录对 2011 年的 7.1 级地震皆有壳下地震的趋势线显示。右图的虚线预示不久的将来可能还有强震活动, 称为具有预警意义的趋势虚线。

4.2. 伊朗地震柱分支的 I02 地震子柱构造

I02 地震子柱构造位于伊朗与伊拉克边界上(43.5°E~51°E, 29°N~36°N), 2017 年的哈莱卜杰 M7.3 地震造成较大伤亡。

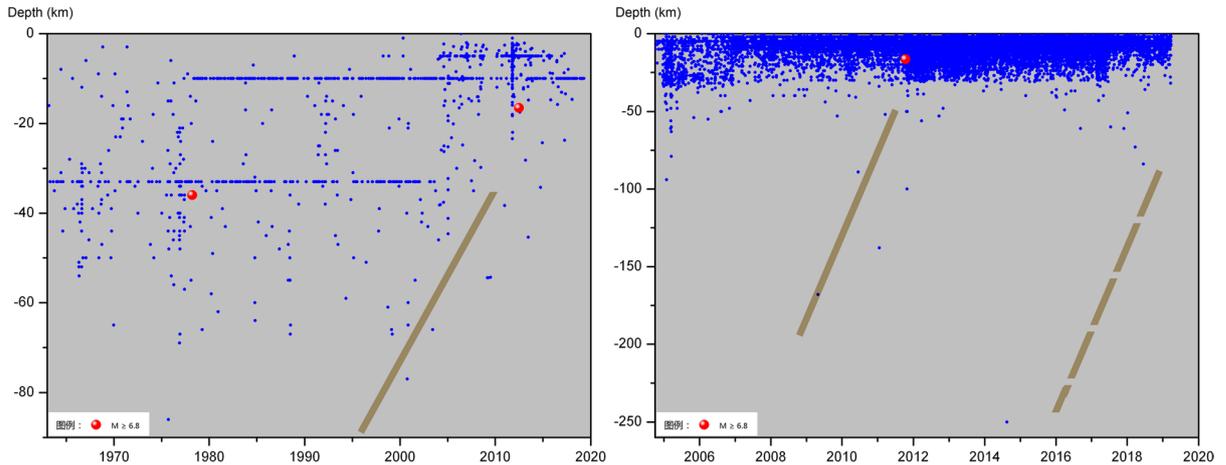


Figure 10. The focal depth sequence diagram of I01 Mini Seismic Cone Tectonic
图 10. I01 地震子柱构造的震源深度时序图

4.2.1. I02 地震子柱构造的三维立体图像

I02 地震子柱构造的三维立体图像如图 11 所示。该图具有明显的地震柱构造特征，最大震源深度左图为 152 km，右图 3 级以上地震为 384 km。M7.3 地震发生在该子柱构造中心位置，扎格罗斯逆冲带上。

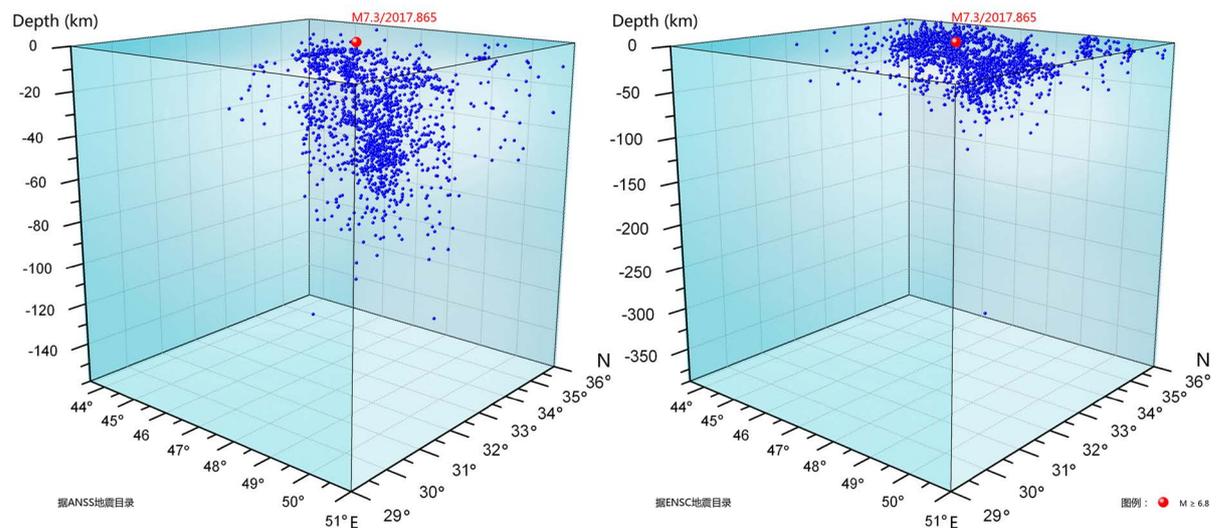


Figure 11. The primary model of I02 Mini Seismic Cone Tectonic
图 11. I02 地震子柱构造的初级模型

4.2.2. I02 地震子柱构造的震源深度时序图

I02 地震子柱构造的震源深度时序图如图 12 所示。左图对 2017 年 7.3 级地震存在明显的趋势线。右图对该地震无明显趋势显示，对比左图，可能是右图起始时间较晚的原因。右图 2018 年深度为 384 km 的 3 级地震对未来的影响值得关注。由图 12 推测，该区域内短时期内不会出现强震活动。

4.3. 伊朗地震柱分支的 I03 地震子柱构造

I03 地震子柱构造几乎涵盖伊朗山字型构造的弧顶区域(51°E~65°E, 25°N~30°N)，应力集中，强震频发，火山活动，是一个极为敏感的地区。2003 年巴姆 7.0 级造成至少 3 万人的死亡[14]。

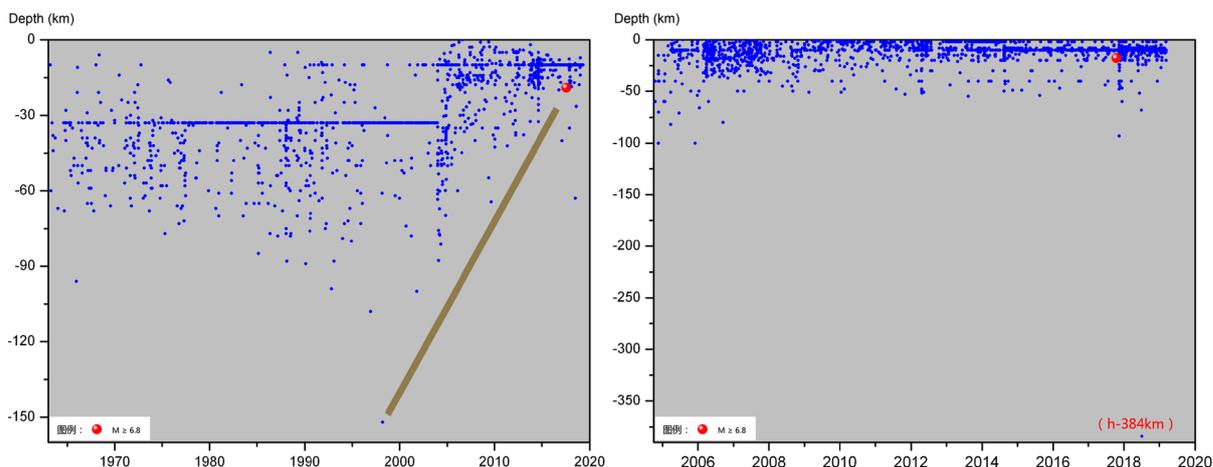


Figure 12. The focal depth sequence diagram of I02 Mini Seismic Cone Tectonic

图 12. I02 地震子柱构造的震源深度时序图

4.3.1. I03 地震子柱构造的三维立体图像

I03 地震子柱构造的三维立体图像如图 13 所示。图 13 目前主要反映东经 61° 以西地区地震活动的空间分布特征，两张小图都对东经 61° 以西的柱体给出了清晰的描述，基本符合地震柱构造的概念要求。如果要监视东经 61° 以东地区的火山活动，尚需加强这里的地震监测工作。

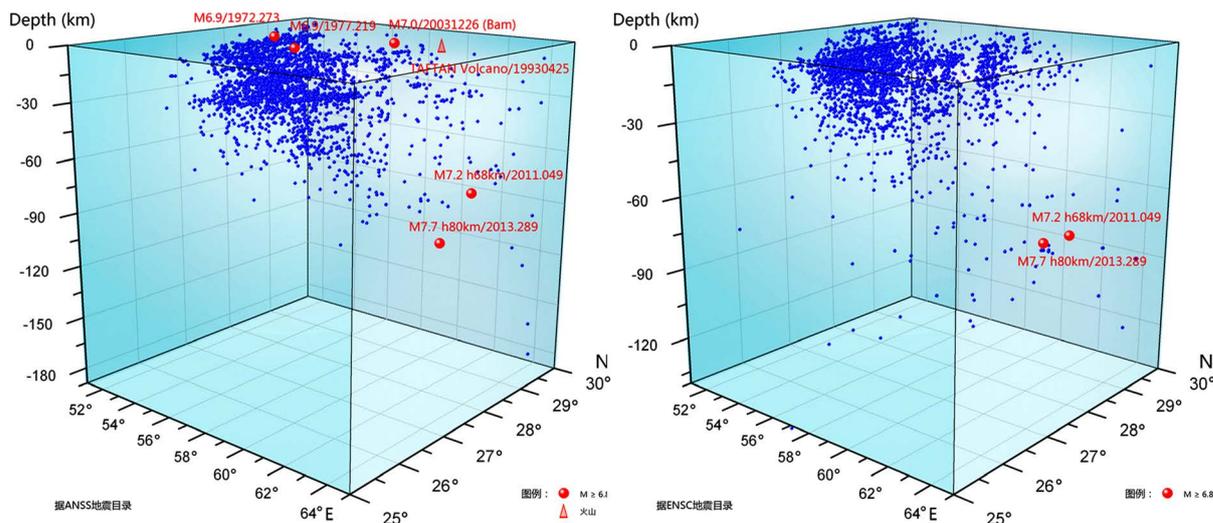


Figure 13. The primary model of I03 Mini Seismic Cone Tectonic

图 13. I03 地震子柱构造的初级模型

4.3.2. I03 地震子柱构造的震源深度时序图

I03 地震子柱构造的震源深度时序图如图 14 所示。图 14 目前主要反映东经 61° 以西地区的地震活动现状，地震活动的韵律具有明显的地震柱构造特征。左图对 2003 年巴姆的 7.0 级地震存在明显的壳下地震活动趋势线。两图对于东部深度约为 80 km 的两次 7 级强震皆有壳下地震的背景活动，是否与该地区的火山活动有关尚需另行研究，但目前该地区的资料比较匮乏。未来东经 61° 以东地区的地震监测能力提高了，I03 地震子柱构造可能需要划分为东西两个子柱构造分别研究。

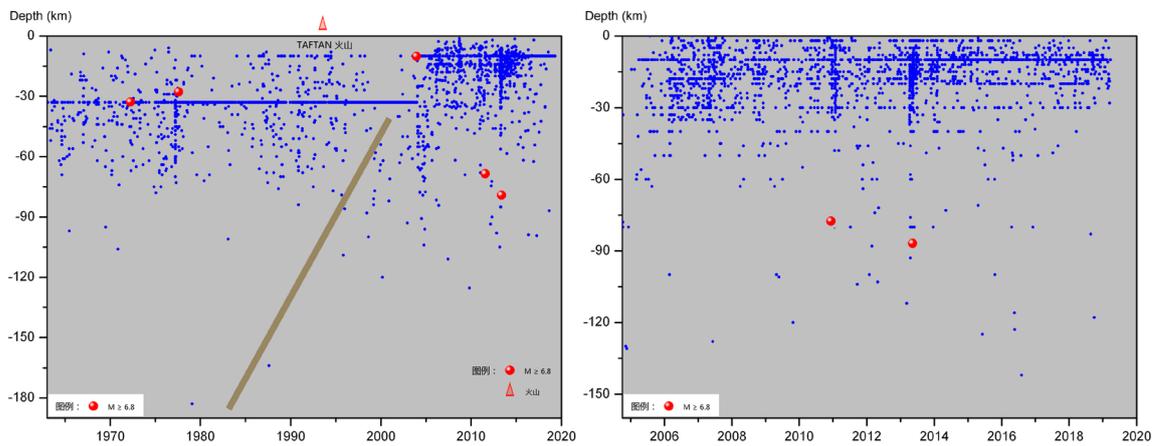


Figure 14. The focal depth sequence diagram of I03 Mini Seismic Cone Tectonic

图 14. I03 地震子柱构造的震源深度时序图

4.4. 伊朗地震柱分支的 I04 地震子柱

I04 地震子柱位于伊朗山字型构造的脊柱上(55°E~63°E, 30°N~36°N), 是一个强震频发的地方。李四光先生曾经指出, 这里存在一组雁行排列的褶皱, 显示褶皱带以东的阿富汗俾路支盾地对其以西的伊朗盾地往南扭动的倾向[16]。因此, 此处应该是构造应力容易集中之所。所谓地应力容易集中之所, 本文理解为在地表构造的继承性运动中容易造成闭锁的部位, 即地震柱构造在地壳内的构造薄弱环节, 在地震柱的构造作用下容易发生强震或火山。

4.4.1. I04 地震子柱的三维立体图像

I04 地震子柱的三维立体图像如图 15 所示。左图最大震源深度为 72 km, 右图震源深度更浅, 似乎与该地区伊朗盾地的构造有关联, 尚有待后续资料证实。

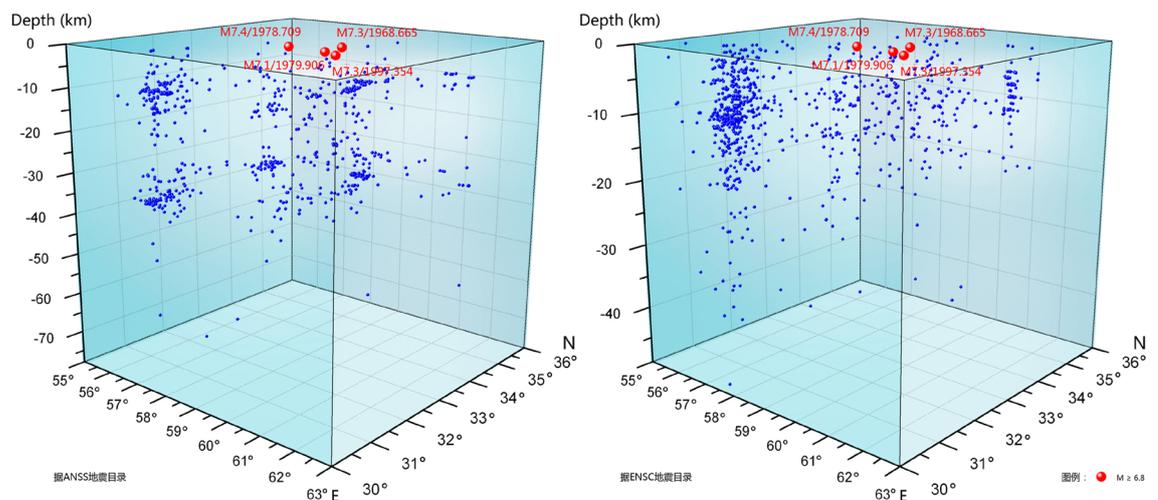


Figure 15. The primary model of I04 Mini Seismic Cone Tectonic

图 15. I04 地震子柱构造的初级模型

I04 地震子柱所处位置特殊, 壳下地震活动深度很浅, 然而强震频发。1963 年以来 M7+地震 4 次, 最大地震 M7.4 (表 2)。对比其它地震子柱构造的情形, 联系到深部的地震柱构造与近地表的山字型构造

体系的关系，令人怀疑这两种构造程式到底主因是在哪个方面？表明上看，这里的强震活动似乎是由山字型构造体系为主导，而左图中却有 70 km 以上较深的 4 级以上地震活动参与，显然又与深部地震活动有关。总的来说，目前该地区的地震资料尚不充分，因此有待未来资料的证实。

4.4.2. I04 地震子柱构造的震源深度时序图

I04 地震子柱构造的震源深度时序图如图 16 所示。尽管该构造内壳下地震活动深度较浅，但不得不指出，左图的趋势虚线预示着未来不太长的时间内可能还有强震活动。右图主要受地震监测能力的影响，最大深度在 50 km 以内，2017 年以来的壳下地震活动趋势尚无法判定。

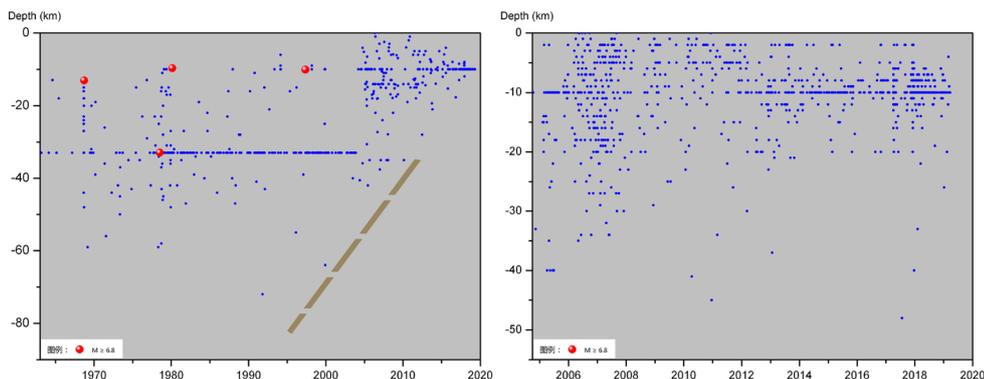


Figure 16. The focal depth sequence diagram of I04 Mini Seismic Cone Tectonic

图 16. I04 地震子柱构造的震源深度时序图

4.5. 伊朗地震柱分支的 I05 地震子柱构造

I05 地震子柱构造位于里海以南(48°E~60°E, 35°N~39°N)。由图 4 可见，这里有一组东西走向的褶皱带，与高加索至伊朗高原的直线型褶皱带大致呈 45° 斜交。两褶皱带西侧交叉点附近，1990 年 6 月 21 日发生鲁德巴尔 M7.3 地震，据德黑兰时报 7 月 17 日报导，该地震造成至少 4 万人死亡，10 万人受伤，50 万人无家可归[13]。

4.5.1. I05 地震子柱构造的三维立体图像

I05 地震子柱构造的三维立体图像如图 17 所示。该柱体的浅层地震活动比较弥散，未见明显的优势分布，似与地震监测能力有关。最大震源深度 106 km。

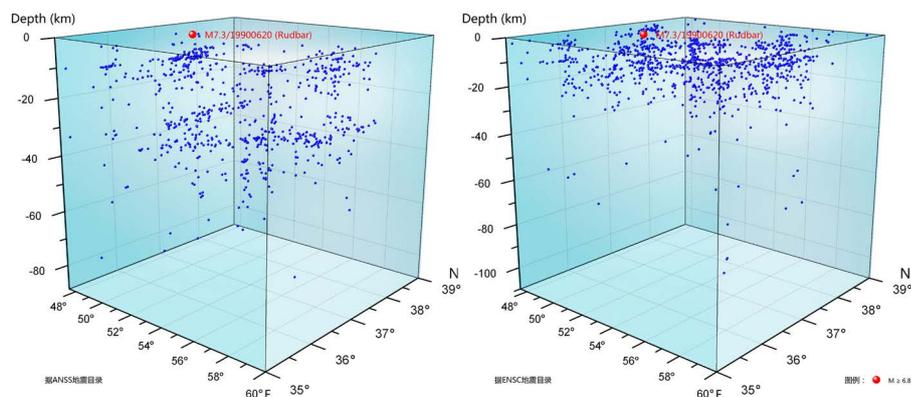


Figure 17. The focal depth sequence diagram of I04 Mini Seismic Cone Tectonic

图 17. I04 地震子柱构造的震源深度时序图

4.5.2. I05 地震子柱构造的震源深度时序图

I05 地震子柱构造的震源深度时序图如图 18 所示。左图对 1990 年强震有明显壳下地震活动趋势线, 2001 年开始的趋势虚线尚不可预料, 推测该子柱构造的强震活动间隔可能较长, 短时期内不会出现强震活动。

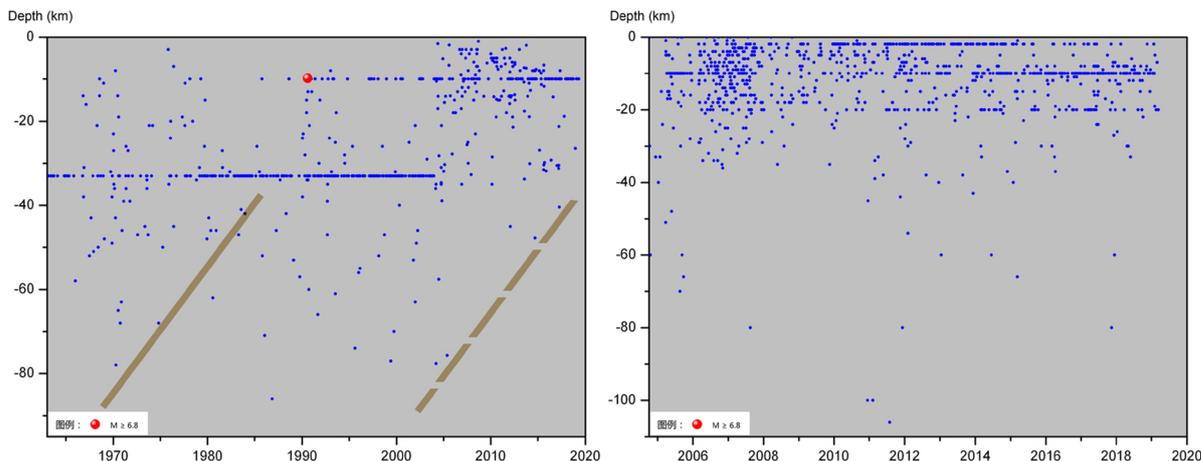


Figure 18. The focal depth sequence diagram of I05 Mini Seismic Cone Tectonic
图 18. I05 地震子柱构造的震源深度时序图

4.6. 伊朗地震柱分支的 I06 地震子柱构造

I06 地震子柱位于里海中部(42°E~57°E, 38°N~45°N), 属于研究区内直线型褶皱带的北端。2000 年里海东西两岸同时发生强震, 说明高加索的直线型褶皱带深入到里海海底, 并跨过了里海。

4.6.1. I06 地震子柱构造的三维立体图像

I06 地震子柱构造的三维立体图像如图 19 所示, 地震活动空间分布呈直下型倒立的圆锥体, 柱体图像清晰, 最大震源深度 170 km, 符合地震柱构造的图像特征。

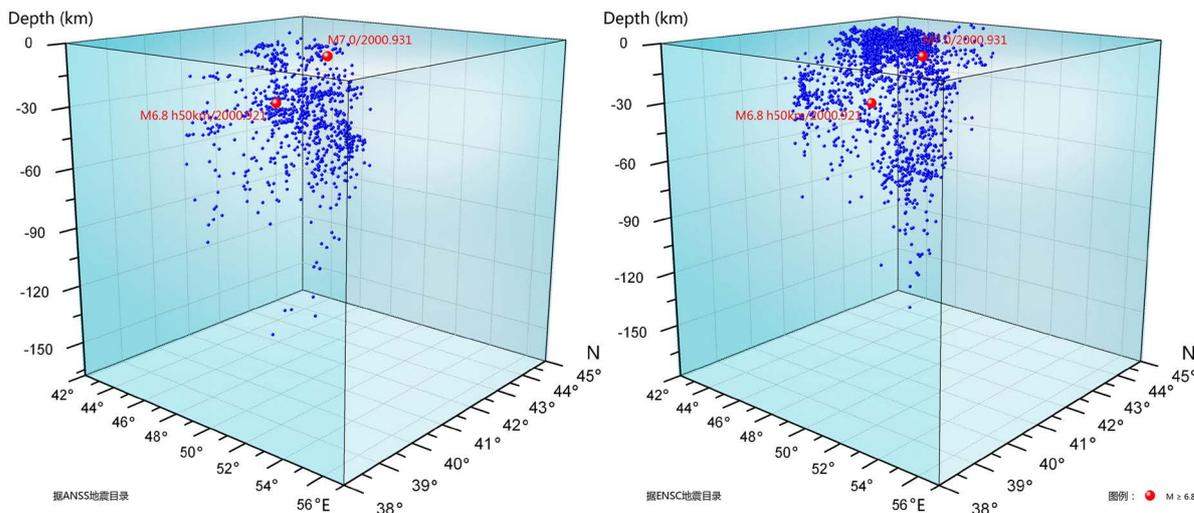


Figure 19. The primary model of I06 Mini Seismic Cone Tectonic
图 19. I06 地震子柱构造的初级模型

里海两岸的地震活动分布, 东深西浅, 是否存在两个独立的圆锥体, 如果是, 那么二者之间又有什

么区别和联系，又为什么会同时地震？这个问题必须等到资料充分时将两岸分别研究，加以比较，再做定论。

4.6.2. I06 地震子柱构造的震源深度时序图

I06 地震子柱构造的震源深度时序图如图 20 所示。左图对 2000 年强震活动具有一定的趋势反应，但 2006 年开始的趋势虚线不太可靠。右图无历史经验可比对。由此图推测，该区域内在短时期内不会出现强震活动。

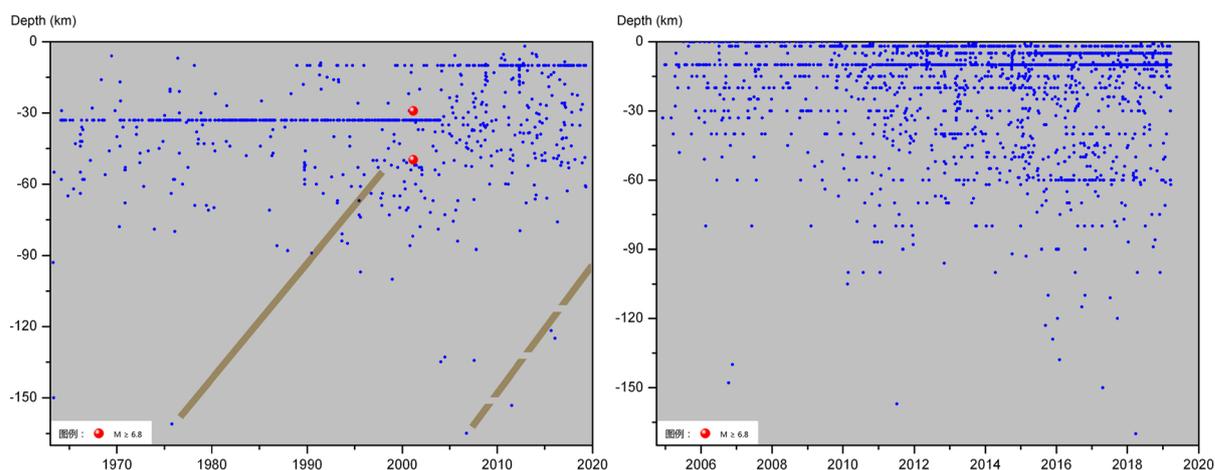


Figure 20. The focal depth sequence diagram of I06 Mini Seismic Cone Tectonic

图 20. I06 地震子柱构造的震源深度时序图

4.7. 伊朗地震柱分支地震子柱的构造特征

综合本章节的分析可以见到，这 6 个主要的地震子柱构造大多数立体图像清晰，壳下地震活动时序图也不失为一个好的分析工具。值得指出的是，I01 和 I04 等 2 个地震子柱构造的时序图给出了壳下地震活动含有预警意义的趋势虚线，值得关注。

目前，这 6 个地震子柱构造还只是初级模型，如果能够拥有伊朗本地的地震目录，做出来效果一定会更好。地震子柱构造的高级模型应该是一个完整的、倒立的圆锥体，应该具有地震柱构造的全部特征[3]。

本文只是介绍一种思路，一种新的方法，循此做去，可以别开生面。

5. 讨论

上世纪 70 年代，“地震是可以预测、可以预防的”，感动了很多中国人；从上世纪末起，地震却变成了“不可知论”。但是，人们相信迟早还会回到“地震可以预测”的轨道。这就是人类认识自然的波浪式前进、螺旋式上升的规律。自然辩证法则，任何力量也阻挡不住。

本文采用地震地热说的理论与方法研究壳内强震和火山活动与地震柱构造的关系，并将地震柱构造与地质力学的构造体系相结合，产生了一种特殊的效果。在大陆漂移的大背景下，构造体系某些部位会应力集中，应变积累，造成地表构造的某些薄弱环节，当地震柱构造由于壳下地震活动积累的能量达到饱和状态时，就会冲破这样的薄弱环节爆发地震或者火山。图 4 显示，越是靠近构造体系应力容易集中的部位，强震与火山越是活跃，相应的地震子柱构造也越发强势。所以，壳内强震与火山喷发是地震柱构造释放柱体能量的两种不同方式，断层，褶皱，构造体系，以及火山锥，都只是地震柱构造释放能量的工具，因为大自然的运动总是以最省力的方式来进行。

地震柱构造的运动表现为地幔深部热能的节律性上升运动。壳下地震活动只是热能上升的一种表征,还应该包括热能的传导、辐射与对流。然而,后者目前是无法检测到的,因此抓住壳下地震活动这个表征性符号便成为当前唯一的可能。近几年的研究经验表明,地震柱构造内的壳下地震投影到地表的密集区与近地表地质构造的联合分析,以及壳下地震震源深度时序图的活动趋势,可以为未来强震或者火山活动的地域与时间域提供重要信息,给人以希冀[5] [6] [17] [38]。

自从有了地震柱构造的概念(Seismic Cone Tectonic)和地震地热说(Seismo-Geothermics)的理论分析,采取地震活动的平面分布和三维立体分布图像,将强震的震源体和火山喷发的管道剥离为一个个倒立的圆锥体,通过地幔深部加热,以壳下地震活动的表征方式源源不断地为地表灾变提供能量,自下而上,逐层驱动,最后推动地表已有构造的薄弱环节突发强震和/或火山。如此,地震与火山的预测似乎是有希望的。

6. 结论

本文依据 ANSS 和 EMSC 等地震目录资料,采用地震地热说的原理和方法,对 19 号地中海地震柱的 19-3 号伊朗地震柱分支进行数据处理,做出了伊朗分支的总体地震、壳下地震、壳内强震和火山活动的平面分布图像、三维立体图像、壳下地震时序图,以及它们与伊朗山字型构造体系关系的理论解释,可以得出如下一些结论:

1) 伊朗地震柱分支构造,总体上满足地震柱构造的概念,可以按照地震地热说的基本理论和方法探索壳内强震与火山活动的预测途径。然而,由于伊朗地震柱分支构造与伊朗山字型构造体系的叠加,显得格外复杂,因此需要划分成若干地震子柱构造对于各个壳内强震与火山活动的地点做专门研究。

2) 地震子柱构造是能够独立控制自身影响区内的壳内强震或火山活动规律及其与壳下地震关系的构造实体,是地震柱构造内的最小地质构造单元。本文所划分的 6 个主要地震子柱构造中,除 I04 地震子柱构造的壳下地震深度较浅外,其余深度均在 100 km 以上,而且其立体图像基本满足地震柱构造的概念要求,因此对各个地震子柱构造的描述是基本可靠的。

3) 本文依据地震子柱构造的时序图对各相关构造的未来活动趋势进行了预测,并就 I01 和 I04 地震子柱构造未来的强震活动给出了壳下地震活动具有警示意义的趋势虚线,值得关注。

4) 本文将地震地热说的地震柱构造与地质力学的构造体系相结合的研究思路,是对地震地热说理论与方法的重大拓展。

本文研究区内 4 级以下的地震缺失较多,因而只是初步研究。如果拥有 2 级以上地震的完整目录,研究就可以更加深入,研究结果也更加具有说服力。然而,本文研究方法面临的重大困难在于具有高精度震源深度资料的地震目录的获取。本文所选用的两套地震目录对于研究区的监测能力都是不够理想的。世界上也有一些地方,尽管拥有长达数十年的地震目录资料,可是其壳内地震与壳下地震的分辨率偏低,同样不能适用于本文的研究方法。所以,本文研究方法的改善,依赖于全球 24 个地震柱构造范围内所有社会力量的共同努力。这取决于相关国家和地区的地震研究机构对于提高壳内地震与壳下地震分辨率重要性的理解与实践。

致 谢

本文感谢美国北加利福尼亚地震数据中心(Northern California Earthquake Data Center)、欧洲-地中海地震中心(The European-Mediterranean Seismological Centre)、Smithson Institution 以及全国图书馆参考咨询联盟(<http://jour.ucdrs.superlib.net/>)提供的数据与资料支撑。地震目录编辑中,黎品忠高级工程师提供了选取任意多边形区域地震记录的方法,谨此特别鸣谢!

参考文献

- [1] 陈立军. 中国地震震源深度与强震活动状态研究[J]. 地震地质, 2000, 22(4): 360-370.
- [2] 陈立军. 地震地热说原理与应用[J]. 内陆地震, 2012, 26(2): 108-122.
- [3] 陈立军. 地震柱的概念及其基本特征[J]. 华南地震, 2013, 33(1): 1-14.
- [4] 陈立军, 胡奉湘, 陈晓逢. 全球地震柱的地震层析成像证据. 华南地震, 2013, 33(4): 1-10.
- [5] Chen, L.J., Chen, X.F. and Shao, L. (2015) Method Research of Earthquake Prediction and Volcano Prediction in Italy. *International Journal of Geosciences*, 6, 963-971. <https://doi.org/10.4236/ijg.2015.69076>
- [6] Chen, L.J. (2016) Study on the Seismogenic Mechanism of the Earthquake Mw6.9 in 2014 in the Aegean Sea Seismic Cone. *International Journal of Geosciences*, 7, 669-684. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.75052>
- [7] 陈立军. 壳下地震活动的研究(4)意大利地震预报入罪事件的教训[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-652328.html>, 2013-01-12.
- [8] 陈立军. 意大利地震柱的地震层析图像依据[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-505496.html>, 2011-11-07.
- [9] 陈立军. 地震地热说应用: 火山成因之 1——意大利的火山研究[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-452242.html>, 2011-06-06.
- [10] 陈立军. 地震地热说原理——20 中地中海地震柱[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-452297.html>, 2011-06-06.
- [11] 陈立军. 地震地热说应用: 地震 6: 地中海的地震活动性[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-464287.html>, 2011-07-13.
- [12] 陈立军. 2008 年汶川 8 级地震成因的地震地热说解释[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-1185193.html>, 2019-06-15.
- [13] 何永年. 伊朗西北鲁德巴尔地震[J]. 中国地震, 1991, 7(1): 44-52.
- [14] 苏卫江, 苏宗正. 2003 年 12 月 26 日伊朗巴姆地震[J]. 山西地震, 2004(2): 47-48.
- [15] Smithsonian Institution (2015) Global Volcanism Program. <http://volcano.si.edu/index.cfm>
- [16] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1973: 54-65.
- [17] 陈立军. 厄瓜多尔地震柱的构造与地震和火山的预测研究[J]. 自然科学, 2016, 4(3): 292-306. <https://doi.org/10.12677/OJNS.2016.43035>
- [18] Brennen, C.E. (1995) Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press Inc., New York.
- [19] 陈立军. 相变(1)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-471467.html>, 2011-08-03.
- [20] 陈立军. 相变(2)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-471781.html>, 2011-08-04.
- [21] 陈立军. 相变、成核与空化(1)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-472526.html>, 2011-08-06.
- [22] 陈立军. 相变、成核与空化(2)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-475517.html>, 2011-08-15.
- [23] 陈立军. 相变、成核与空化(3)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-477723.html>, 2011-08-20.
- [24] 陈立军. 相变、成核与空化(4)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-478764.html>, 2011-08-23.
- [25] 陈立军. 球泡动力学(1)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-482848.html>, 2011-09-04.
- [26] 陈立军. 球泡动力学(2)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-484797.html>, 2011-09-10.
- [27] 陈立军. 球泡动力学(3)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-485009.html>, 2011-09-10.
- [28] 陈立军. 球泡动力学(4)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-485368.html>, 2011-09-11.
- [29] 陈立军. 空泡的溃灭(1)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-508949.html>, 2011-11-17.
- [30] 陈立军. 空泡的溃灭(2)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-509138.html>, 2011-11-17.
- [31] 陈立军. 空泡的溃灭(3)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-510105.html>, 2011-11-21.
- [32] 陈立军. 空泡的溃灭(4)[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-510450.html>, 2011-11-22.
- [33] 陈立军. 全球热机带和冷机带火山活动的比较研究——兼论对热机带火山预测研究思路的改进[J]. 地球科学前沿, 2015, 5(5): 334-357.
- [34] 陈立军. 印尼 9 级地震的成因分析[EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-571677.html>, 2012-05-16.

- [35] 陈立军. 2013 年巴基斯坦 7.7 级地震与兴都库什的地震构造[J]. 内陆地震, 2015, 29(1): 15-27.
- [36] 陈立军. 壳下地震活动的研究(6): 拉马德雷现象: 地幔的年代际振荡和年际振荡(MDO) [EB/OL]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-664926.html>, 2013-02-25.
- [37] Chen, L.J. (2013) Mantle Decadal Oscillation (MDO). <http://blog.sciencenet.cn/blog-552558-665664.html>
- [38] 陈立军. 2012 年 0419 预测卡片(3 年期)的试验总结——地震地热说的壳内强震与火山预测方法介绍[J]. 自然科学, 2015, 3(4): 147-164. <https://doi.org/10.12677/OJNS.2015.34019>