

Relationship between Hydrocarbon Generation History of Source Rocks and Sealing History of Mudstone Cap—rocks in the Southeast Sichuan Basin

YUAN Yusong, SUN Dongsheng, ZHOU Yan, LI Shuangjian, WANG Xinwei ,
ZHANG Rongqiang, WO Yujing, ZHENG Herong

Research Institute of Petroleum Exploration & Development, SINOPEC, Beijing, 100083

Abstract: In order to determine the effectiveness of the mudstone cap—rocks in the southeast Sichuan basin, both hydrocarbon generation histories of source rocks and sealing histories of the mudstone cap—rocks are reconstructed. The results show that the sealing function of the Cambrian mudstone formed earlier than the onset of gas generation of the Sinian source rock and its maximum displacement pressure was as high as 26 MPa at the end of the Late Cretaceous. Writers, therefore, consider that the Cambrian mudstone was of effective sealing function with respect to the Sinian source rock before Late Cretaceous. Similarly, the Permian and Triassic mudstone cap—rocks were also of effective sealing function before being drastically exhumed or uplifted in the late tectonic events. However, the Silurian mudstone cap—rock was less effective in sealing the gas generated by the Cambrian source rock though its maximum sealing capacity (displacement pressure = 16 MPa) is powerful enough to seal high pressure gas reservoir at the end of the Late Cretaceous.

Key words: mudstone cap—rock; hydrocarbon generation history; displacement pressure history; effective sealing function; “source—cover” coupling; southeast Sichuan basin

再论“地震预报的关键在于监测断层”

孙建中

长安大学, 西安, 710054

汶川地震的伤痛尚未抚平, 玉树地震的灾难又接踵而至, 叫人好不揪心! 作为一个地质工作者我又一次因不能为地震预报出谋划策而愧疚。唐山地震后我曾在学院的一次学术会议上做过一次呼吁, 汶川地震后我又写了一篇短文《地震预报的关键在于监测断层》(孙建中, 2009) 进行呼吁, 现在, 玉树地震又一次刺痛了我, 我还要呼吁! 呼吁有关人士把我国地震预报工作推向正确的高速轨道上去。

首先, 地震能不能预报? 很多人都说, 不能预报, 世界上所有国家都不能预报地震。特别是日本一名大学教授 R. J. 盖勒 1997 年在国际著名刊物《Science》上发表了“地震是不可预报的”的文章 (Geller et al., 1997)。还有一些学者, 跳不出地震波的圈子, 想就地震预报地震。当小震闹大震到时, 似乎有一点希望; 但是, 当小震不闹大震也到时, 就没办法了。于是, 使自己陷入了“制造永动机”(许绍燮, 2003) 的怪圈, 并从而得出地震不可预报的结论。然而, 中国的事实却有力的反驳了这种谬论。

我国曾经在世界上首次成功地预报了 1975 年 2 月辽宁海城的 7.2 级地震, 避免了大量生命财产的损失, 取得了显

著的防灾减灾效果。据权威统计 (岳明生, 2005), 在 1975~2001 年间, 我国地震部门还成功地对 23 次破坏性地震进行了预报, 如: 1975 年 7 月孟连 7.3 级地震, 1976 年 5 月的云南龙陵 7.4 级地震, 1976 年 8 月的四川松潘平武 7.2 级地震, 1982 年 6 月四川甘孜的 6.0 级地震, 1999 年 11 月辽宁岫岩 5.4 级地震, 2000 年 6 月甘肃景泰 5.9 级地震, 2001 年 10 月云南永胜 6.0 级地震等 (车用太等, 2008, 2009)。这些事实充分地说明了地震是可以预报的。但是, 无可讳言, 我国在现阶段地震预报的成功率还不是很高的。

但是唐山地震为什么没有预报呢? 事实上, 唐山地震的前兆是十分明显的。我的一位朋友那时正在唐山地区带领一批学生做水文地质观测, 那些日子突然发现井水位数据十分异常, 有的井水位突然下降几十米, 有的井水位突然上升几十米, 有的竟突然喷出地表成为自流井。他意识到要发生地震了, 赶快疏散了学生, 从而避免了伤亡。唐山广大群众和基层地震工作者也都积累了大量地震前兆资料。但是, 根据《唐山大地震》(关仁山等, 2010) 一书的记载, 唐山大地震前有一个“黎明前的黑暗”或“激战前的寂静”也就是属于那

种“小震不闹大震也到”的类型,由于经验不足,由于没有专业的、微观的、精确的监测资料,因而未能预报。然而,唐山地震并不是地震不能预报的一个例证。

但是,为什么汶川地震和玉树地震也都没有成功预报呢?这正是本文所要关心的问题。

社会上关于地震预报有各种各样的说法。其中最荒诞的一种说法叫“蝴蝶效应”,说是南美洲有一只蝴蝶振了一下翅膀,亚洲就地震了。这种说法之所以荒诞,主要是他和许多其它说法一样,把一些毫不相干的,毫无因果关系的一些事物硬扯到一起。有些地质学家说,由于印度板块碰撞欧亚板块,使青藏高原挤压四川盆地,造成龙门山山前大断裂,而引起地震。这无疑是正确的,正确的解释了该断层的成因。但是,这解决不了地震预报问题。

依辩证法,世界上没有一事物是孤立的,任何事物的发生都有其前因和后果,任何事物都和他周围的事物有着千丝万缕的联系。任何事物的发展都有一个过程,都有一系列的事件发生。前面发生的事件就是后面将要发生的事件的前因或前兆,后面就必然要得出一定的结果。科学研究的任务就是探索和发现这种前因,预知它的后果。

几十年前,气象不是不能预报吗?但是,现在不但能预报而且越报越准了。

这里我们不禁回忆起李四光教授的遗训:“地震是可以预报的”,“地震是一种地质现像”^①。

人们说“地震是一种物理现象”,也没有错。但地震不是一般的物理现象,它是发生在地球表层约 60 km 以内的,不及地球半径(6371 km)百分之一的地壳中的物理现象(景才瑞,2004),它自然是一种地质现象。地震是一系列地质活动链条中的一个环节。它的发生有一个过程。作为弹性物体的岩石,受力后内部会产生应力,岩石持续受力,应力会累积和集中。应力集中达到岩石的极限强度时,岩石就要破裂,发生断层,释放能量,从而引起地震。也就是说,地震是“岩石受力→应力集中→断层产生(或复活)→释放能量,爆发地震”这个过程中的一个环节。地震是处于这个链条的末端。所以,前面那些事件就是地震产生的原因。原因也就是前兆,是最主要的前兆,它和地震有着直接的因果关系。

地震是由断层引起的,地震与断层是密切相关的。这几乎是常识问题。从世界地震分布图上看,大部分地震都集中在各个板块的缝合线上,也就是断层最集中的地带。从中国地震分布图(中华人民共和国地图集编委会,1984)上看,地震也主要集中在各个断层密集地带。如:郯庐(郯城—庐江)断裂带,汾渭(汾河—渭河)地堑断裂带等。汶川地震发生在龙门山山前断裂带上;玉树夹在由横断山脉北上而在甘孜附近转向北西的两条断层之间,其间距仅 20~60 km(任国林等,1990)。所以玉树是一个很不稳定的地区。而稳定的地块区,如鄂尔多斯地台区,四川盆地区,塔里木盆地区则地震很少。所以监测地震自然要把目光紧盯着断层带。仅在个别情况下,断层比较隐蔽,一时尚未找到地震与断层的关系(郭增建等,2003)。

1966 年邢台地震后,当时担任地质部长的李四光教授,临危受命,担负起探索地震预报的艰巨任务。对地震预报的

各种方法进行了广泛的对比试验研究。如:地电阻率、地磁、重力、地下水、地形变、地应力等。也借鉴了国外的一些经验,如美国在断层上打钻测形变的方法,日本利用倾斜仪测地壳倾斜的方法。经过试验对比,发现岩石应力变化比应变、形变的变化大得多,发现应力测量是既直接又灵敏的一个指标^②。

这个结论很了不起,是一项弥足珍贵的遗产,我们应该继承下来,发扬光大。否则我们还要在歧途上,瞎摸乱撞,吃苦头,付代价。

为什么气象能够预报呢?就是因为气象变化是由气温、气压、湿度、风速、风向等要素的活动引起的。气象预报就是研究这些要素的变化规律而得出的。

同理,地震预报就是要研究与地震有关的一些要素的变化规律。这些要素有:地应力、地应变、地形变、地下水位,水温,水质的变化、地磁、地电、地气(氡、汞)地热、地声、地光等要素的变化。而其中最主要的最根本的就是地应力的变化。这些要素都在地震之前就变化着,所以他们都是地震的前兆。

为什么说地应力是最重要的,最根本的要素呢?因为它是直接造成地震的要素,它是常在的,时刻不可缺少的要素。其它要素都是它派生出来的。它们时有时无,可迟可早,或强或弱。所以地震预报就是要抓地应力这个根本。

我国对地震可以说是十分重视的。像我国在国家和省级都设有地震局,拥有大批顶级的地震科学家和成千上万的专业人员的情况,在世界上也是少有的。我国还拥有庞大的地震台站网,如:700 个测震台;110 个地形变台;22 个重力台;110 个地电台;86 个地磁台;800 多口井泉观测点;200 多个断层气观测点;还有数以千计的流动观测点与 GPS、RS 等新技术观测系统。每日产出着海量的观测数据(车用太等,2008,2009)。

人们认识地震首先是从地震波开始的,我国汉朝的张衡首先发明了地震仪,为世界做出了巨大的贡献,使我们能够在千里之外就能了解地震。所以上述 700 个测震台的部署是十分必要的和正确的。因为地震波向四周传播很远,所以测震台的距离就可以较大,各个方向都有台,可以几点交汇把震中定准,形成一个网。可能还不需要象气象那样每个县设一个台。但是,其他与地震有关的要素都不能像地震波那样向外传播。如,地形变、重力、地电、地磁、井水位、断层气等要素都不能向外传播,每一个测点所得的数据只能代表本测站一个点的情况。这些要素都是在断层附近形成的一个“场”内变化的。要了解这个“场”的变化就必须几个或许多个点才能掌握。对于像我国这样大的国土这样众多的断层,那么少的测点简直是太少太少了。

以汶川地震为例,其发震断层就是“龙门山山前大断裂带”,其西南端起自雅安市的二郎山向东绵延 500 km 达到陕西的宁强县,甚至延伸到汉中市。在这个断裂带上,只在南段布置了 5 个短水准测量场地。其中只有距震中最近的耿达场地判读出震前异常(周硕愚等,2008)。而距震中最近(140 km)的姑咱形变台的面应变小时增量曲线震前两天向上突跳,与汶川地震时变化性质相反,可能是地震的前兆变化(邱泽华等,2008)。但因观测点太少,“孤掌难鸣”,没有办

法提供准确的预报。人们不得不拿 1000 km 之外,位于青海省北部的德令哈钻孔应变仪来说话。正如该文作者所说:“即使震前有观测资料,看到这些异常,我们也不可能准确预报这次汶川地震”。据说天水还有一个类似的地形变观测台。看来,在这 1000 多千米之内如果还有类似的观测台的话,数量也不会太多。不幸的是这次玉树的地震正是发生在这个区间附近。

此外,距汶川地震震中 50 km 处,有一个台站自 2006 年年中开始出现电阻率持续下降,到 2008 年初已下降 5.5%,异常十分显著。其量级达到 7~8 级地震的异常前兆。但因只有一个台,使专家不能做出决断,怀疑是环境干扰所致,直至发生地震。又如距震中 90 km 处一口自流井 2006 年断流,部分专家认为是地震前兆,另一些专家认为是气候干旱所致,直到震后井水又恢复了自流,才被确认为地震前兆(车用太等,2009)。

总之,这些监测点的布置都是蜻蜓点水,杯水车薪,十分稀少。要知道这些要素的变化,都是在断层附近,在一个面积不太大的“场”内变化的。只有监测点足够稠密才能显示出这些要素的动态变化,才能看出变化趋势。监测点达到一定的密度,才能有足够的“分辨率”和“像素”,才能画出等值线、看出动态。

我们对玉树一带地震监测点的布置情况一无所知,但是从这次没有预报的情况看,那里的监测点也不会太多。

这些地震前兆的要素与地震波不同,它们是不会向外传播的,不是在千里之外就可以测到的。测震台的布置可以是大致等距的,在平面上均匀分布的,或为了方便,按行政单位布置都可以,以便形成网络就近侧准地震强度,几个方向交会可以把位置定准。所以,测震台的布置是没有问题的。而地震前兆要素是在以断层为轴心形成的一个场中变化的,所以,这些要素的监测站就应该密集布置在断层附近,以断层为轴心,形成一个网。就象我们勘探矿床用纵横剖面的钻孔网控制住矿体一样,用纵横剖面构成的钻孔网控制住断层。以便捕捉到地震前兆变化的确切信息,做出可靠的预报。

以汶川地震所在的龙门山前大断裂带为例,它是由三条断层组成的一个断裂带,宽 20~60 km,长 500 余千米(任国林等,1990)。我们初步设想,每隔 50 km,布一条横剖面,每条剖面在横跨断层线时,在断层线两侧,距断层线 1~2 km 内各布钻孔 1 个。这样就需要 50~60 个钻孔组成一个监测网。

当然,汶川大地震爆发后,这一带在相当长的一段时间里会平静下来,这样的监测网首先应布设在哪些近期地震危险性大的断裂带上。

这样看来,全国上千条断裂带,都布设这样的监测网,其工作量是十分庞大的。也是不现实的。何况这项工作带有很大的探索性,我们只有在探索中,在试验改进中逐步前进,逐步推广。好在,现代技术发展很快,可以采用自动信息采集,有线或无线传输,高速计算机处理,不需要一个钻孔一个人或几个人管理。甚至在一个钻孔中布设多个项目,一个钻孔中还可可在不同深度上布设测点。

气象要素都是在地面上,在空中活动的,所以要从地面上从空中采集这些数据。地震要素是在地下,在岩石中活动

的,所以必须到地下,到岩石中去采集这些数据。必须打钻,把仪器安装到地下岩石中去,把传感器安装到地下岩石中去。这就比在大气中采集数据困难得多了。这就是为什么地震预报比气象预报落后很多的原因。

当然,我们不可能一开始就把一切都考虑周到。例如,断层按其力学性质还可分为:压性、张性、扭性、压扭性、张扭性几种。其在岩石中应力状况如何,如何监测等等问题都需要试验研究。

科学的分解,社会的分工,是一种进步的表现。但自然界是一个整体。往往需要我们跨专业去研究问题。如果只局限于专业的思维,固步自封,就会成为“分工的奴隶”。让我们不同专业的同志们联合起来,为解决地震预报这个难题共同奋斗吧!

综上所述:(1)地震是可以预报的,我们应坚信不疑,有决心和信心把地震预报工作进行到底。(2)地震预报必须抓活动断层的监测,围绕断层布设监测网。(3)地震前兆要素大致可分为微观与宏观两类,微观的有:地应力、地应变、地形变、地下水位、地磁、地电、地气(氡、汞)等,其中地应力最为重要,地形变、地下水位次之;宏观的有:地表水和地下水的异常(水流、水位、水色、水味、气味的变化),植物异常、动物异常、地气(味)、地光、地声、地震云等等。(4)地震预报还要坚持走专业与群众相结合的两条腿走路方针,专业队伍抓微观前兆,群众队伍抓宏观前兆。宏观前兆多为派生前兆,他们的可靠性、稳定性和连续性度比较差。光依靠群众预报,成功率较低,社会成本和经济成本都很高。因此要以专业队伍为主,以群众队伍为辅。

注 释 / Note

- ① 李四光. 1965~1971. 关于地震地质工作的意见. 见:地质力学研究所(1974年). 编. 李四光同志关于地质工作方面的一些意见(一). 142~236.

参 考 文 献 / References

- 车用太,刘成龙,鱼金子,等. 2008. 汶川 Ms8.0 地震的地下流体与宏观异常及地震预测问题的思考. 地震地质, 30(4):829~838.
- 车用太,鱼金子,刘成龙. 2009. 汶川地震的异常及地震预测问题. 防灾科技学院学报, 11(1):1~4.
- 关仁山,王家惠. 2010. 唐山大地震. 北京:新世界出版社.
- 郭增建,吴瑾冰,郭安宁. 2003. 由活断层评价地震灾害的讨论. 国际地震动态, (2): 7~9.
- 景才瑞. 2004. 学习李四光. 福州:福建人民出版社, 51~57.
- 邱泽华,唐磊,阚宝祥,等. 2008. 钻孔应变台网记录的汶川地震前异常变化. 国际地震动态, (11):102.
- 任国林,等. 1990. 中国工程地质图(1:4000000). 北京:地图出版社.
- 孙建中. 2009. 地震预报的关键在于监测断层. 土工基础, 23(1):94~95.
- 许绍燮. 2003. 探索地震预报. 国际地震动态, (2):1~6.
- 中华人们共和国地图集编委会. 1984. 中华人们共和国地图集. 北京:地图出版社.
- 周硕愚,施顺英,吴云,等. 2008. 汶川地震的断层变形异常及其与其他大地震的比较. 国际地震动态, (11): 200.
- Geller R J, Jackson D D, Kagan Y Y, et al. 1997. Earthquakes cannot be prediction. Science, 275: 1616.