



汶川大地震与中地壳低速、高导层的成因关系初探

张景廉¹, 杜乐天², 张虎权¹, 石兰亭¹

(1. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃兰州 730020; 2. 中国核工业北京地质研究院, 北京 100029)

摘要:四川汶川大地震给人们留下诸多困惑:大地震究竟是如何发生的,大地震能否避免?本文根据松潘—甘孜褶皱带的深部地壳构造特征表明:松潘—甘孜褶皱带的茂县(1933年)、松潘—平武(1976年)、汶川(2008年)大地震震源深度与中地壳低速、高导层深度大体一致,可能成因上相关。历史上一些大地震如银川地震、海原地震、渭南地震、海城地震、唐山地震等也均与中地壳低速、高导层有关,这一切均可能与地球排气作用有关。而通过地震、森林大火、油气资源的一体化勘查,可查明地震可能发生的区域。通过油气的勘查、开发、排放,可有效减少地震发生的可能性。

关键词:地震;成因;震源;中地壳低速高导层;壳幔韧性剪切带;地球排气作用;汶川大地震

中图分类号: P315.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2008)04-0405-08

Discussion on the Relationship between Wenchuan M_w 8 Great Earthquake and the Low Velocity and High Conductive Layer in Mid-crust

ZHANG Jing-lian¹, DU Le-tian², ZHANG Hu-quan¹, SHI Lan-ting¹

(1. Northwest Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Lanzhou 730020, China;

2. Beijing Geological Research Institute of Nuclear Industry, Beijing 100029, China)

Abstract: Some puzzles come from Wenchuan great earthquake: how did Wenchuan great earthquake took place and how can great earthquake avoid? The deep crust structure of Songpan—Ganzi folded belt in Sichuan shows that the focus depth of Wenchuan great earthquake (2008), Maoxian great earthquake (1933), Songpan—Pingwu great earthquake (1996) were same with the low velocity and high conductive layer of the mid-crust, and they might be related to this layer. Moreover, Yinchuan earthquake, Haiyuan earthquake, Weinan earthquake, Tangshan earthquake, Haicheng earthquake were also related to the low velocity and high conductive layer. All of these earthquakes might be caused by the earth outgassing. Based on the integrative survey on the earthquake, forest fire and petroleum resources, some seismogenic structure region can be explored, and through effluent of oils and gases, the possibility of the earthquake might be decreased.

Key words: Earthquake; Origin; Earthquake focus; Low velocity and high conductive layer of mid-crust; Crust-mantle ductile shear zone; Earth outgassing; Wenchuan great earthquake

0 引言

2008年5月12日14点28分,中国四川汶川发生强烈大地震。目前全国军民在党中央、国务院的

领导下正奋力抗震救灾。作为地球科学工作者,我们必须认真思考以下3个问题:(1)汶川大地震是

收稿日期:2008-06-03

作者简介:张景廉(1941-),男(汉族),江苏常熟人,从事油气地球化学与成因研究。

如何发生的?(2)汶川大地震能否预测?(3)大地震能否避免?

2008年5月18日,中国地质调查局召开汶川地震分析会,专家们对汶川地震的形成机制初步形成3个结论:(1)印度板块向亚洲板块俯冲,向东挤压,在龙门山北山—映秀镇一带突出释放;(2)这是一种逆冲、右旋、挤压型断层地震;(3)这是一个浅源地震,深约10~20 km。

对汶川大地震并其他一些中国大陆上的历史大地震的成因,笔者根据多年的研究,提出一些不同于主流观点的看法,求教于地震、地质界同仁。

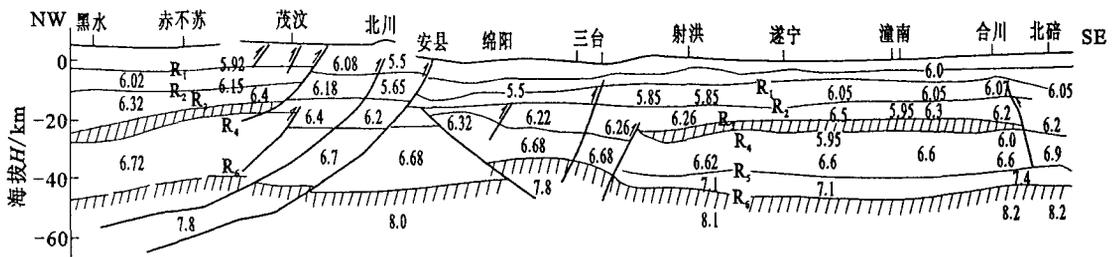


图1 黑水—北碚地壳测深剖面(引自文献[2],图中数字为地震波速,km/s)

Fig. 1 Crust velocity structure profile from seismic sounding along Heshui—Beibei line(From reference[2]).

尔后笔者获悉,2005年12月22日在都江堰至汶川的一个公路隧道施工中,曾发生过瓦斯爆炸。据查该地区主要为前寒武纪结晶基底^[3],这种瓦斯爆炸极可能是无机成因天然气所造成。

图2是关于龙门山造山带北段的地震测深剖面及构造解析剖面^[4]。图中看出,从黑水至绵阳在20 km左右有一壳内低速层,有4条逆冲断裂带均收敛于这个低速层,它们是:汶川早期逆冲断裂带,晚期伸展正断裂带;北川—九顶山逆冲断裂带;映秀逆冲断裂带;彭灌逆冲断裂带。

汶川大地震可能与映秀逆冲断裂带有关,而映秀逆冲断裂带由于与中地壳低速层相连,这个中地壳低速层是一个巨大的气体库,它是重大自然灾害(也是地震)的内在孕灾体^[5-6]。

中国地震台网中心首席预报员孙士铨在CCTV曾谈到:“唐山地震前,台风路径因地震发生改变,缅甸飓风的路径在地震前也发生突然改变。”孙士铨只认为灾害是具有链条效应的,他不知这是由于地球排气造成的。唐山地震位于冀东—华北油气区,缅甸伊洛瓦底江也是一个油气区,笔者以为是油气区深部排气使台风、飓风路径发生改变。杜乐天曾谈到:1975年河南漯河地区的特大暴雨与南阳盆地的排气有关,南阳盆地的天然气释放致使台风改变路径^[7]。笔者也曾谈到,2006年7月4日由于银

1 松潘—甘孜地区的深部地壳构造特征

笔者在2006年曾发表一篇文章:“松潘—甘孜褶皱带的深部地壳构造特征及油气前景”,根据黑水—北碚地壳测深剖面(图1),指出,在茂汶—黑水段的深部中地壳有一低速 $v_p = 5.95$ km/s 的低速层,特别在茂汶附近有一大断层收敛于这个低速层。当时认为该地区有丰富的油气资源前景^[1]。

川盆地排气导致碧利斯台风拐到银川地区,致使银川暴风成灾!^[1]

汶川大地震后接连有雨,可能也与排气有关。笔者以为汶川地区深部应有巨大的天然气储库,如果早些投入勘探开发,由于气体的开采,就不会有今日的压力突然巨量释放,造成今日的地震。

以上我们讨论了汶川大地震与中地壳低速高导层的可能联系;以下我们讨论中国近几十年来发生的大地震(7级以上)与中地壳低速高导层的联系。

2 盆地中地壳低速高导层与地震关系的实例

2.1 陕西渭河盆地

渭河盆地是中国强震活动区之一。有史记载的3000多年来已发生5级以上地震32次,1556年华县还发生了8级大地震。该地区也是断裂、滑坡等环境地质灾害的多发区。但是根据地球物理测深资料,控制该盆地的断裂都是上地壳正断层,它们均消失于埋深10~20 km、厚约6~8 km的中地壳塑性层中(图3),无明显的岩浆活动,震源一般也位于12~20 km深处。该塑性层为P波速度6.35 km/s的低速层和电阻率1~3 $\Omega \cdot m$ 的低阻层,居里等温面深度也与它相当,隐示该塑性层处于部分熔融状态,而成为上地壳正断层向下错动极其有利的应变

空间,故而造成该地区盆-山系升降运动及地震活动十分强烈。大陆内部切穿地壳、岩石圈的深断裂罕见,地壳稳定性主要受上地壳断裂控制,所以如果我

们漠视上地壳正断层对人类生存环境的危害性,可能会造成严重的后果^[9]。

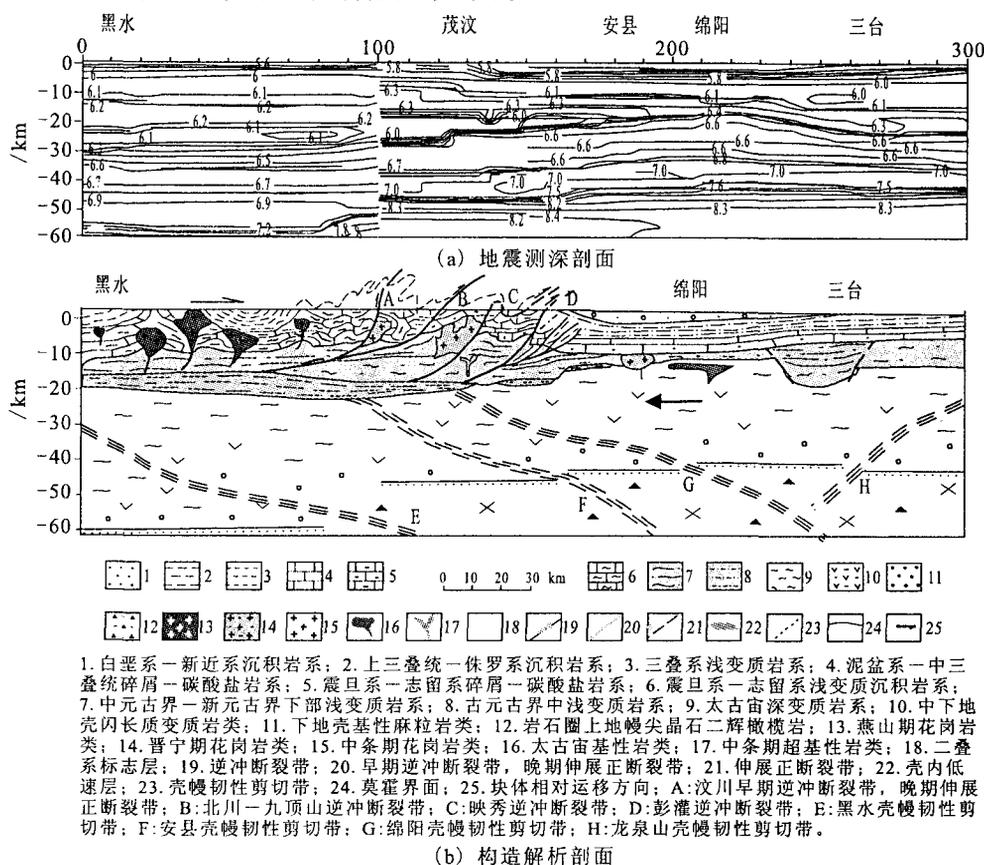


图2 龙门山造山带北段岩石圈楔状构造剖面图(据文献[4])

Fig.2 The wedge-shaped structure profile in lithosphere under the north part of Longmenshan Orogen(From reference[4]).

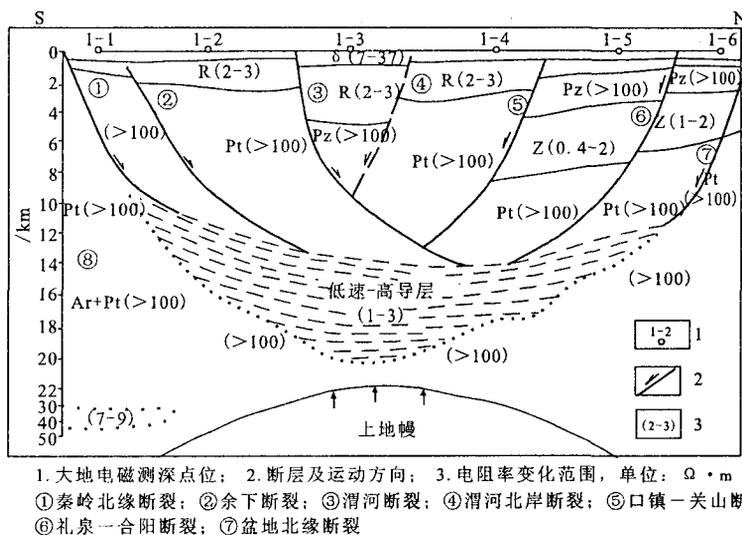


图3 渭河盆地大地电磁电性分层解释图(据文献[8]简化)

Fig.3 Crustal magnetotelluric tomographic model of Weihe basin(From reference[8]).

2.2 宁夏六盘山盆地

中国地震局地球物理勘探中心曾布设了一条近

1 000 km 长的玛沁—兰州—靖边综合地球物理探测剖面,以研究青藏高原东北边缘和鄂尔多斯地块的

相互关系,并了解海原 8.5 级地震(发生于 1920 年)与深部构造的关系^[10]。由于该剖面恰好通过六盘山盆地,因此我们可以了解六盘山盆地的深部地壳构造,并讨论它与油气的相互关系(图 4)。

从图 4 可以看出,在海原—同心近于中地壳的 20 km 深部存在一 $v_p = 6.1$ km/s 的低速层,其 50

km 深部莫霍面起伏较大,且有上拱现象。另据青海门源至福建宁德的地质断面,西吉—六盘山—平凉的中地壳有一 11 km 厚 100 km 长的速度为 5.9 km/s 的低速层,也是高导层(电阻率仅 1 ~ 2.9 $\Omega \cdot m$)与上述结果大体一致^[11]。

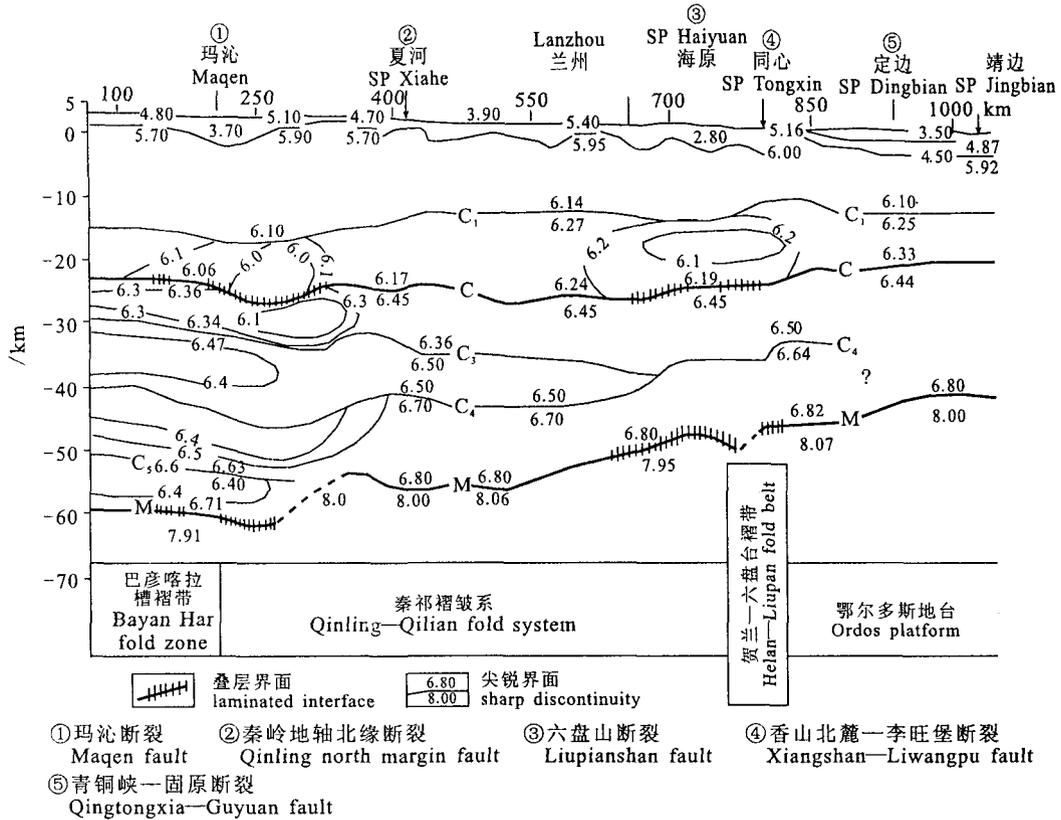


图 4 玛沁—靖边地震测深剖面二维地壳速度结构图^[10]

Fig. 4 2D crustal velocity structure profile from seismic sounding along Maqin - Jinbian line.

地震学家认为海原 8.5 级地震与中地壳的低速、高导层有关,作者则以为这个低速、高导层还可能与油气生成有关^[12]。

2.3 银川盆地

根据上海奉贤至内蒙阿拉善左旗地学断面,在阿拉善左旗至银川段(相当于银川盆地)的 30 km 深度有一 $v_p = 6.0$ km/s 的低速层(图 5),该图还展示了这个低速层与震源分布关系^[13]。

最近魏荣强等对阿拉善左旗至银川段的精细研究也表明,在 30 km 深部不仅有低速层,也有高导层,两者分布范围大体一致。该高导层还可向东南延伸到鄂尔多斯盆地。这个低速、高导层也是低粘度区,其中有很多流体^[14]。如前所述这种流体在银川盆地可表现为强烈排气,如 2006 年 7 月 4 日台风碧利斯在福建登陆,后来却拐到宁夏银川地区,使银

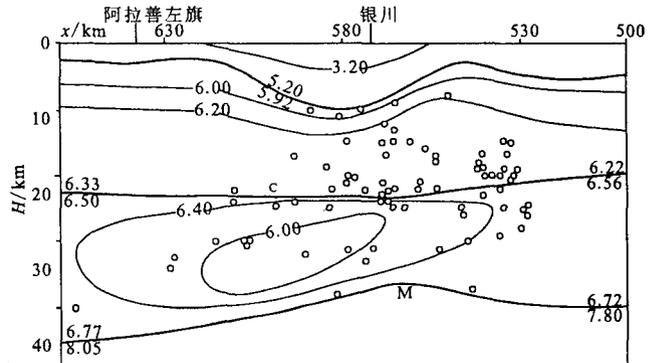


图 5 银川地区壳幔速度结构与震源分布^[13]
 (图中数字为 P 波速度,单位 km/s)

Fig. 5 Crustal-mantle velocity structure and earthquake focuses in Yinchuan basin.

川突降暴雨,造成巨大灾害,原因便是银川盆地强烈

排气造成减压区,把碧利斯台风“勾引”到银川上空,两股强大气流相遇,强降暴雨^[15]。

2.4 渤海湾盆地 I—唐山地震

徐常芳对渤海湾盆地深部地壳特征与地震关系有深入研究。他认为唐山地区位于上地幔高导层埋

深的高梯度上,壳内高导层比较发育。由于通常壳内高导层与低速层有很好的对应关系,所以,徐常芳用壳内低速层来探讨唐山地震的孕育发生机理。他把2条人工地震测深剖面简化合并为一张立体图(图6)。

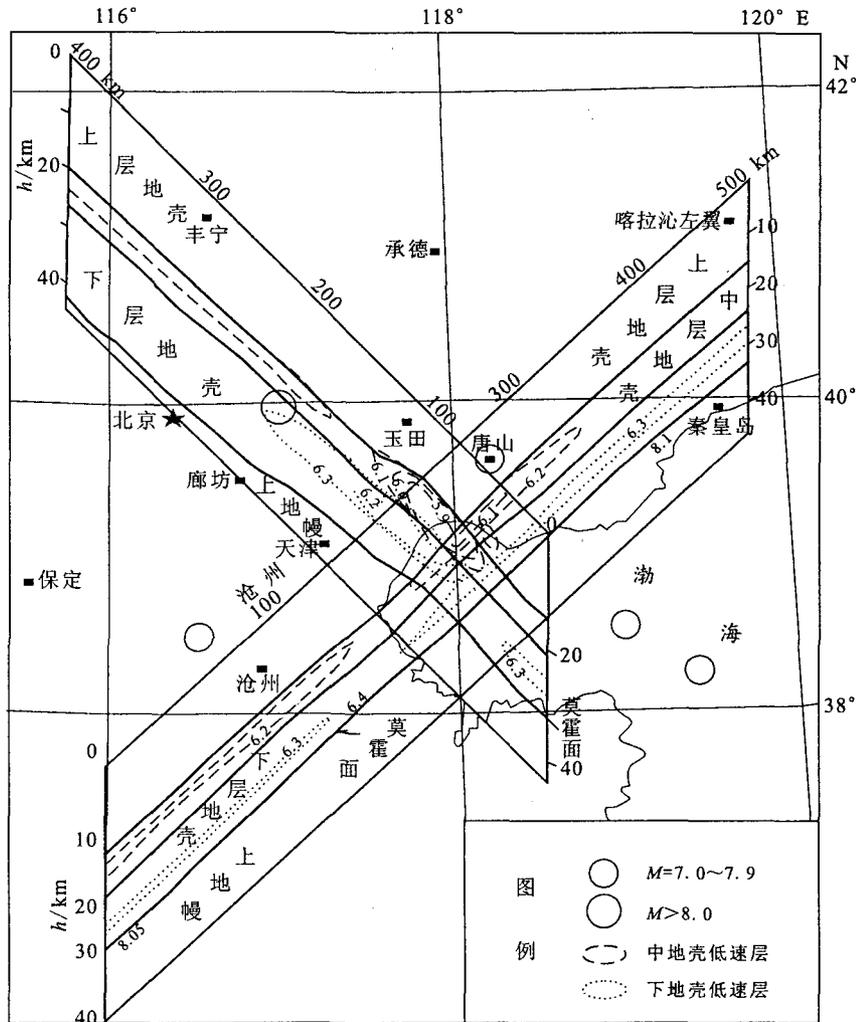


图6 唐山地震和壳内低速层的关系^[17]

Fig. 6 The relationship between Tangshan earthquake and the low velocity layer in crust.

从图6可以看出,这里中下地壳均有低速层,称双层低速构造。中地壳的纵波 $v_p = 5.6 \sim 6.0$ km/s, 下地壳 $v_p = 6.2$ km/s。他认为地壳低速层的形成与上地幔上隆及地幔流体有关,唐山地震的孕育和发生与流体释放有关。伴随唐山地震有地温增高,油井压力增大、地光、重力场等现象可作为佐证^[16-17]。

2.5 渤海湾盆地 II—海城地震

1975年2月5日辽宁海城发生大地震,震中海城深部中地壳也有一个低速高导层^[18]。

3 大地震的成因讨论

3.1 深部气体、中地壳与地震关系

汶川主震发生以后发生了大量的余震,至2008年5月26日为止发生6级以上强余震有5次。强余震的发生表明那里存在断层,但是为什么主震发生以后即主应力释放之后这些断层才开始活动呢?而且震中的位置发生了迁移,从汶川(8.0级)到青川(6.4级)。这表明:主震发生并不意味着主应力的释放,而且表明深部主震震源区热流体(主要是气体)的不断上涌。

在松潘—甘孜褶皱带近60多年来发生了3次大地震,1933年8月的茂县7.5级地震、1976年8

月的松潘—平武地震(7.2级)和2008年5月12日的汶川大地震(8.0级),笔者以为都与深部的中地壳低速、高导层的流体上涌有关。

据载,1933年8月25日茂县地震发生时,“中午,天空中突然冒出一条火龙,发生霹雳一声巨响,大地开始猛烈摇晃,地震发出巨大响声……。”注意这一条火龙正是气体爆炸燃烧。是气体引发了地震。按我们的分析,此次震中深度约为20 km。

3.2 壳幔韧性剪切带、中地壳与地震关系

上面讨论了地震与中地壳低速高导层的可能联系。但是中地壳低速高导层中的流体是如何生成的,以前的一些地震测深剖面大多没有对深部断裂进行构造解析,因此也无法了解深部流体的运移轨迹。

蔡学林等对我国30多年来完成的中国大陆123条总长56 000 km的地震测深剖面进行了系统的构造解析,在建立起中国大陆岩石圈地壳三维结构模型^[4]基础上结合天然地震面波层析成像的构造解析和深源岩石包体构造学和岩石地球化学研究,首次编制出中国大陆壳幔过渡带横向 v_p 速度突变带(断点)分布图和中国大陆岩石圈壳幔韧性剪切带分布图^[19]。随着地震活动区深地震反射探测研究的深入,发现一些地震活动带的发震构造并不完全是地震活动断裂带向深部延伸扩展的结果,而是切割莫霍界面的壳幔韧性剪切带由地壳下部向地壳中、上部扩展,由能量聚集与释放破裂引起的,因此蔡学林等认为:壳幔韧性剪切带可能是地震活动区的发震构造。他们以1966年7.2级邢台地震和1679年三河—平谷8.0级地震为例阐述了这一研究思路^[19]。

这样地震形成机制的系统或模式便完成了:(1)地幔流体(以气体为主)通过壳幔韧性剪切带(安县壳幔韧性剪切带,绵阳壳幔韧性剪切带,图2)进入中地壳,并形成低速高导层;(2)当中地壳低速高导层的流体通过地壳表层断裂带将能量传输到地表并造成地震。在这里,壳幔韧性剪切带、中地壳低速高导层、地壳表层断裂带三者缺一不可。而地幔流体则源于地球排气作用^[15-7,20]。

蔡学林等总结了中国大陆岩石圈壳幔韧性剪切带与地壳表层断裂带几何关系模式(文献[19]),这个模式图对于我们判识地震的形成或无机油气的生成可能有重要意义。

3.3 深部气体致震

事实上,断裂带中的流体与地震的关系已引起

了关注^[21-22]。美国 San Andreas 地震的成因也引起了地球化学家的重视,Kennedy 和 Kharaka 认为 San Andreas 断裂带的流体可能是幔源成因,并指出来自深源气体的释放也可能造成地震的发生。模拟发现给定适当的参数,仅幔源或地壳深处释放的二氧化碳气体在断裂带快速流动造成的孔隙压力升高,就足以在断裂带的某些地段触发地震^[23-24]。

但流体对围岩及断层岩的作用,以及由此造成的应力转化,裂隙生成、断层粘滑、摩擦失稳等力学机制还不是十分清楚,还需进行更详细的野外调查及采样分析,结合实验及数值模拟,以提出更令人信服的模式以指导地震预测。但这可能是更值得研究的科学思路,并通过这一方向有望解开地震成因之谜。

颜丹平等最近指出,龙门山地区中生代伸展构造事件是通过中地壳的韧性流变层的流变作用来实现的^[25]。李德威则谈到大陆下地壳低速高导层德渠流(Channel flow)与地震活动等的关系,并认为必须建立起超越板块构造学说的地球科学新理论^[26]。这为我们认识地震成因提供了一个新的线索。2008年5月27日16时03分四川青川发生5.4级余震,16时37分陕西宁强发生5.7级余震。为此中国地震台网中心首席预报员孙士铨称“相隔不远的青川、宁强发生5.4级、5.7级余震实在让我感到困惑,现在看来需要对汶川地震的整个序列作出重新认识”,他还说:“汶川地震后地震序列相当复杂,跟以往的序列经验与专家预期均不同”。看来用传统的地震理论解释不了汶川地震现象,而用气体流体致震则很好解释。

4 几点思考

4.1 地震成因与地震的避免

笔者在1999年发表的“森林大火后的思考”一文中曾谈到,如果对森林大灾、地震、油气勘查一体化综合研究,将会为人类解决21世纪资源、环境、减灾问题做出贡献^[27]。按照这一思路,通过油气勘查与开发,减少了地下气体压力的积聚,从而减小了发生地震的可能性,也减少了CO₂、烃类气体向大气的排放,这是‘一举多得’的大事。遗憾的是这一思路尚未获得有关部门人员的重视。

1975年、1976年的海城地震、唐山地震,由于辽河油田、冀东油田、大港油田的大规模开发,30多年来,辽宁、河北再没有发生地震。

杜乐天等在香山科学会议第133次学术讨论会

上说过:“如果掌握了地球排气规律与自然灾害的联系,就可以通过深钻给地球人工事先排气。如在地震、森林大火欲发区,事先进行不同深度的深钻放气使地震和火灾不致发生或降低强度”^[6]。笔者以为进行一体化综合研究与开发,使地下气体变废为宝。同时也最大限度地避免了地震的发生或延缓了地震发生的时间。

4.2 地震预测需百家争鸣

从1966年邢台地震以后,在周总理的倡议下中国专门设立了地震行政、研究机构,时至今日已42年,而我们对地震的预测始终没有突破。当年周总理曾为预报地震专门找了李四光与翁文波,交代了任务。翁文波在以后的近30年间致力于地震、水灾、旱灾等天灾的研究,并成功准确预测了1990年北京亚运会期间的地震,1991年江淮地区的洪涝,1992年、1993年、1994年美国和日本多次6级以上地震……。但遗憾的是这个老人的准确预测没有被有关当局所重视。

在这里特别需要指出的是,自海城地震特别是唐山地震后,我国有不少科研人员涉足地震领域的研究,由于这些研究往往不合当今中国、世界地震主流学派,他们的研究往往得不到有关部门的资助。但他们对科学事业的执着而矢志不渝,而且也作出了重要贡献,有的是突破性进展^[28-34]。

2008年5月18日,温家宝总理在中国地震局召开抗震救灾总指挥部会议上说,总指挥部要成立“汶川地震专家委员会”。笔者以为这个委员会必须吸收上述不同学派的学者、专家参加,地震研究再也不能“一言堂”了,只有百家争鸣,集思广益,才能学术创新。面对地震成因这个世界级难题时,中国首席减灾专家王昂生作客CCTV科学教育频道《人物》节目(2008年5月28日)说:“中国科学家一定要走在世界前面”。他认为中国是地震多发的国家,并说地震学界和社会各界有许多非主流学派,要很好吸收他们的长处。笔者以为这是作为一个科学大家应有的态度。

总之,中国地震局的职责决不是在发生地震后出来说一句“冠冕堂皇”的话:“地震预测是世界的科学难题,目前没有办法预测出来”。今天,在地震、海啸、厄尔尼诺、区域干旱、热灾、特大暴雨、瓦斯爆炸、森林大火、气候变暖等重大自然灾害的研究中,杜乐天教授力排众议,系统的提出了一系列创新观点。这些观点集中地体现在近期即将出版的他的新著中:“地球排气作用——巨大天然气体源和

重大自然灾害的孕因”(北京:气象出版社,2008)^[20]。但愿这个新思想、新观点逐步被人们接受。

诚然,本文仅是一家之言,仅供从事地震研究的专家、学者参考。关于中地壳与油气、矿产、地震之间的关系,有兴趣的读者可参阅作者的“论中地壳及其地质意义”一文^[35]。汶川大地震的发生将可能把松潘—甘孜褶皱带这个“地质百慕大”之谜得以解开^[36],同时,也可能加速对该地区的油气勘探与开发^[11]。

根据国内几十年来发生的地震的初步研究,可得到以下结论:

(1)地震可能与地球排气作用有关;(2)地震的震源与中地壳的低速、高导层的顶部深度大体一致;(3)建议开展地震、森林大火、油气等一体化综合研究,通过人工排气(即油气开发)可以避免地震、森林大火的发生,这是一举多得的好事。

根据上述思路可进行地震预测,限于篇幅,笔者拟另文讨论。

致谢:作者在成文过程中与郭增建研究员进行了有益的讨论,郭增建研究员对本文提出了一些建设性意见,我们表示衷心感谢!

[参考文献]

- [1] 李碧宁,焦养家,张景廉. 松潘—甘孜褶皱带的深部地壳构造特征及油气前景[J]. 新疆石油地质,2006,27(6):655-659.
- [2] 宋鸿彪,罗志立. 四川盆地基底及深部地质结构研究进展[J]. 地学前缘,1995,2(3-4):231-237.
- [3] 罗志立,刘树根. 试论龙门山冲断带大陆科学钻探选址问题[A]//许志琴主编. 中国大陆科学钻探先行研究[G]. 北京:冶金工业出版社,1996:189-197.
- [4] 蔡学林,朱介寿,曹家敏,等. 中国大陆及邻区岩石圈三维结构与动力学模式[J]. 中国地质,2007,34(4):543-557.
- [5] 杜乐天. 地球排气作用—建立整体地球科学的一条统纲[J]. 地学前缘,2000,7(2):381-390.
- [6] 杜乐天,强祖基. 特异自然灾害发生的内因——地球排气作用[A]//《特大自然灾害预测的新途径、新方法》编委会编. 特大自然灾害预测的新途径、新方法[G]. 北京:科学出版社,2002:66-70.
- [7] 杜乐天. 对西方当代地球科学理论的怀疑与新见[J]. 地学哲学通讯,2006,(1):11-18.
- [8] 彭建兵,张骏,苏生瑞,等. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[M]. 西安:西北大学出版社,1992.
- [9] 李扬莹,张星亮,陈延成,编著. 大陆层控构造导论[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [10] 李松林,张先康,张成科,等. 玛沁—兰州—靖边地震测深剖面地壳速度结构初步研究[J]. 地球物理学报,2002,45(2):210-217.

- [11] 林中洋,蔡文泊,陈学波,等. 青海门源—福建宁德地质学断面[M]. 北京:地震出版社,1993.
- [12] 张景廉. 论石油的无机成因[M]. 北京:石油工业出版社,2001.
- [13] 杨文采,编著. 后板块地球内部物理学导论[M]. 北京:地质出版社,1999:61-62.
- [14] 魏荣强,臧少先,孙武城. 奉贤至阿拉善左旗地质学断面的流变结构及其动力学意义[A]//张中杰,高锐,吕盛田,等主编. 中国大陆地球深部结构与动力学研究——庆贺滕吉文院士从事地球物理研究50周年[G]. 北京:科学出版社,2004:539-555.
- [15] 张虎权,张景廉,卫平生,等. 汝箕沟煤矿的热液活动与煤炭成因[J]. 新疆石油地质,2008,29(2):155-158.
- [16] 徐常芳. 中国大陆岩石圈结构、盆地构造和油气运移探讨[J]. 地学前缘,2003,10(3):115-127.
- [17] 徐常芳. 中国大陆壳内与上地幔高导层成因及唐山地震机理研究[J]. 地学前缘,2003,10(特刊):101-111.
- [18] 卢造勋,夏怀宽. 内蒙古乌珠穆沁旗至辽宁东沟地质学断面[M]. 北京:地震出版社,1992.
- [19] 蔡学林,曹家敏,朱介寿,等. 中国大陆岩石圈壳幔韧性剪切带系统[J]. 地学前缘,2008,15(3):36-54.
- [20] 杜乐天. 地球排气作用——巨大天然气能源和重大自然灾害的孕因[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [21] 刘亮明. 断裂带中超压流体及其在地震和成矿中的作用[J]. 地球科学进展,2001,16(2):238-243.
- [22] 车用太,王吉易,李一兵,等. 首都圈地下流体监测与地震预测[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [23] Kennedy B M, Kharaka Y K, Evans W C, et al. . Mantle fluids in the San Andreas fault system, California[J]. Science, 1997, 278:1278-1281.
- [24] Kharaka Y K, Thordsen J, Evans W C. Geochemistry and hydro-mechanical interaction of fluids associated with the San Andreas Fault System, California[A]// Haneberg, et al. eds. Faults and Subsurface Fluid Flow in the Shallow Crust[C]. American Geophysical Union Geophysical Monograph, 1999, series 13:129-148.
- [25] 颜丹平,刘鹤,魏国庆,等. 龙门山后山震旦系—古生界变形变质作用——松潘—甘孜造山带中生代伸展垮塌下的中地壳韧性流变层[J]. 地学前缘,2008,15(3):186-198.
- [26] 李德威. 大陆下地壳流动:渠流还是层流?[J]. 地学前缘,2008,15(3):130-139.
- [27] 张景廉. 森林大火后的思考[J]. 地学前缘,1999,6(增刊):257.
- [28] 郭增建,郭安红. 对2006年川渝特大旱灾成因的新看法[J]. 西北地震学报,2007,29(2):200.
- [29] 郭增建. 地球自由振荡与全球气温变化[J]. 西北地震学报,2006,28(4):354.
- [30] 郭增建. 巨型地震与全球变化[J]. 科技导报,2005,23(10):65-70.
- [31] 郭增建,秦保燕. 灾害物理学[M]. 西安:陕西科学出版社,1989.
- [32] 郭增建,秦保燕. 地震成因与地震预测[M]. 北京:地震出版社,1991.
- [33] 宋贯一,杨同林. 地壳“轧展”效应及地震方面的证据[J]. 地震,1991,11(4):49-56.
- [34] 宋贯一. 地壳“轧展”效应对地震成因的解释[J]. 地震,1998,18(1):89-96.
- [35] 张景廉,于均民. 论中地壳及其地质意义[J]. 新疆石油地质,2004,25(1):90-94.
- [36] 罗志立,姚军辉,孙玮,等. 试解“中国地质百慕大”之谜[J]. 新疆石油地质,2006,27(1):1-4.

作者申明

本刊2008年第3期刘旭宙等发表的《2008年5月12日汶川 $M_s8.0$ 地震甘肃强震记录与初步分析》文章为中国地震局“十五”重点项目《甘肃省数字地震观测网络项目强震动分项目》资助。