

深部热流体上涌对天水强震区深部发震环境形成演化过程的影响作用

施 锦^{1,2}, 刘耀炜^{1,2}, 高安泰²

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:通过与肯尼亚 Gregory 地堑的深部构造的对比分析, 本文研究了天水强震区深部发震环境的形成演化过程及其主要特征, 探讨了深部热流体上涌在该地区深部发震环境形成演化过程中所起的重要作用, 为进一步研究该地区前兆形成机理打下基础。

关键词:天水强震区; 深部构造; 地下热流体

中图分类号: P315.72*3; P314

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2004)03-0255-05

0 引言:

地震地下流体在地震监测预报工作中有很重要的作用。随着研究工作的不断深入, 地震地下流体学科在其发展过程中也面临着很多难题, 其中最突出的问题是由于对深部发震环境形成演化过程以及深部物质物性特征的研究不够深入, 无法对前兆的形成机理做出较透彻的解释。因此搞清强震多发区的深部发震环境的形成演化过程及深部物质的物性特征是日前地震地下流体学科急待解决的一项关键性的科学问题。

天水强震区位于南北地震带北段的甘东南—川青交界地区, 是中国地震局确定的四个强震重点监视区之一。区内深大断裂纵横, 构造活动强烈, 强震频发, 是开展深部地下流体研究的理想场所。

位于东非大裂谷的肯尼亚 Gregory 地堑具有非常典型的深部构造特征^[1], 也是强震多发区。由于世界范围内很多专家已在该地区开展过深入细致的研究工作, 所得结论已逐步系统化且为大多数专家所认可, 通过对比研究有助于我们深入了解天水强震区深部构造体系的形成演化过程和深部物质的物性特征。

1 Gregory 地堑的深部构造及形成机理

如图1, 肯尼亚 Gregory 地堑位于厚度约42 km的地盾型地壳间, 分上下两层, P波速度分别为5.8 km/s和6.5 km/s^[2], Moho面下方地幔的P波速度为8.0 km/s。地堑下方的地质构造与其两侧的地壳和地幔相比, 差别十分明显。重力资料显示在地堑下方存在一宽度达20 km的高密度火成岩体, 沿地堑向上侵入地壳中^[3], 地表有低密度沉积物存在。折射勘探资料显示, 在P波速度为6.4 km/s的地壳的下方19 km深度, 存在有P波速度为7.5 km/s的物质^[4], 其位置位于地堑下减薄地壳的正下方, 被认为是异常低速上地幔的顶部。该异常的低速上地幔向下在150 km深度逐渐延宽为椭圆形状, 位置位于肯尼亚穹形隆起区域的下方^[5]。这种异常的上地幔被认为是低密度的软流圈热物质向上侵入岩石圈中所致^[6]。

Martin H. P. Pott 对这种特殊的构造体系的形成演化过程做了解释^[1], 认为该地区大陆岩石圈的下方存在有热点, 可能源于地幔深部热物质向上对流。在地幔深部热物质上升过程中, 由于围压逐渐减小导致

收稿日期: 2004-05-19

基金项目: 甘肃省自然科学基金(ZS031-A25-009-Z); 地震科学联合基金(604013); 中国地震局兰州地震研究所青年基金(B0304); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20040068

作者简介: 施锦(1967-), 男(汉族), 甘肃民乐人, 硕士, 主要从事地下流体预报地震的基础理论研究。

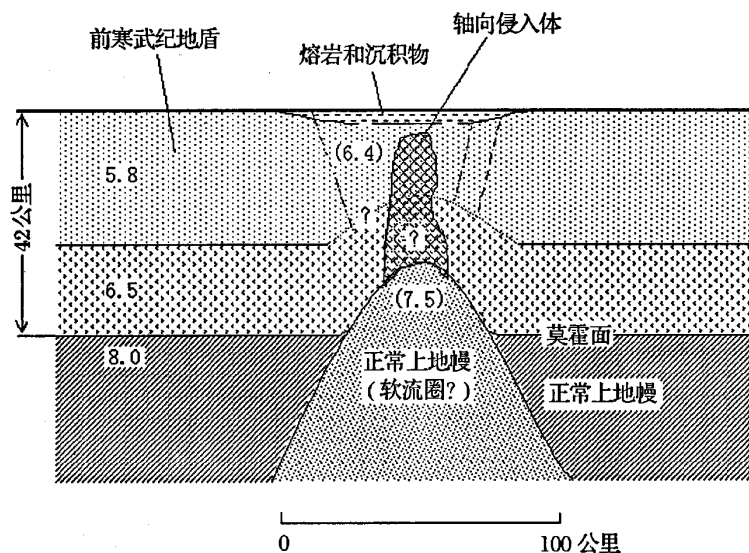


图1 肯尼亚 Gregory 地堑地壳断裂结构及上地幔构造剖面图(地震波速度为 km/s)^[1]

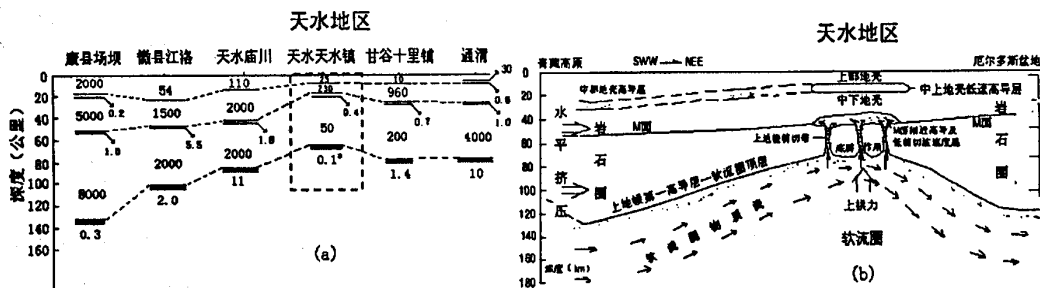
Fig.1 A schematic cross section of the structure of the crust and topmost mantle beneath the Gregory rift.

出现局部熔融。岩浆进入岩石圈后,块体变得疏松,软流圈中热物质不断上涌使其上方的下沉作用被抵消。经过这一系列的过程,大陆岩石圈在相对较短的时间内厚度不断减薄,且火山作用导致地表抬升。

地堑的产生与上拱作用之间存在内在联系,一种可能性认为上拱过程在先,地堑由上拱作用引起的拉伸所致;第二种可能认为:上拱作用引起岩石圈破裂,地幔物质向上涌入^[7],地堑随着形成。

2 天水强震区深部构造的特征

天水强震区的深部构造特征与肯尼亚 Gregory 地堑的深部构造有很多相似之处(图2),列举如下:



(a) 研究区大地电磁测深剖面^[8-10];

(b) 有关壳幔过渡带成因的分析图^[9]

图2 天水地区深部构造剖面与成因

Fig.2. The deep structure and causing mechanism in Tianshui earthquake area.

(1) 根据大地电磁测深资料,研究区下方上地幔第一高导层明显向上隆起,说明该地区软流圈也是向上隆起的;上地幔第一高导层隆起的最高位置电阻率非常低,低于 $0.1 \Omega\text{m}$ ^[8-10]。

(2) 软流圈隆起处的上方,从软流圈到上地壳存在电阻率明显低于周围相应层位的垂向条带。

(3) 根据地震探测资料,该地区上地幔顶部存在低速槽,莫霍面很模糊且急剧向上隆起,下地壳底部有一厚度约8~10 km, P波速度居于7.0~7.8 km/s之间的高速体(图3),壳幔之间呈过渡带^[10]。又据电

性资料,壳幔过渡带呈低阻特征,空间位置与地震探测获得的壳幔过渡带一致^[10]。

(4)下地壳、中地壳和上地壳均呈上隆趋势,且地震波速度普遍高于周围相应层位^[10]。

(5)研究区下方15~20 km深度,存在一个P波速度约为5.85 km/s的低速体(图3),MT资料(图2)显示该低速体呈高导特征^[8,10]。

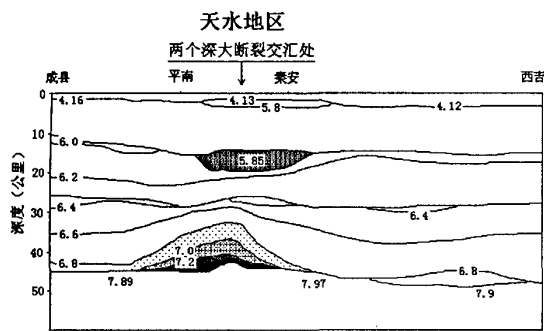


图3 天水地区南北向地震探测剖面

Fig. 3 The isovelocity curves of south - north direction profile in Tianshui area.

(6)地表有新生代侵入岩出露,礼县马泉以北等地有新生代碱性超基性火山岩分布^[10]。研究区内岩浆活动以中生代最为强烈,新生代有所减弱,岩浆活动与构造活动密切相关。

(7)清水 - 成县之间形成椭圆形高热流区,其长轴近南北向或北北东向,空间位置与莫霍面急剧隆升的区域一致,热流值大于71~84 mW/m²^[10,11],下地壳比其东西两侧具有较高的温度。

3 天水强震区深部发震环境的形成演化过程^[12]

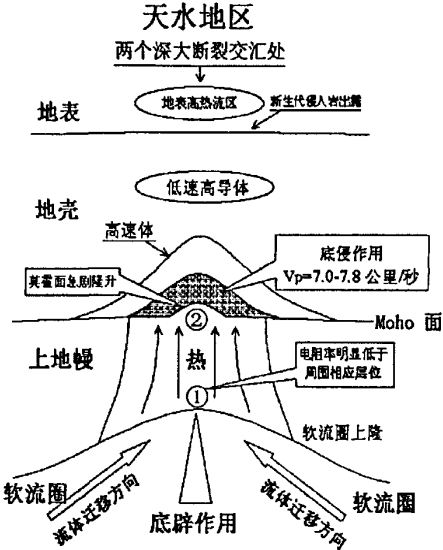
天水强震区下方地幔中是否存在有与 Gregory 地堑相类似的热点,目前尚无资料可以证实,但研究区下方软流圈明显向上隆起,这一特征与 Gregory 地堑有相似之处。软流圈向上隆起非常有利于软流圈中的热流体在围压的作用下沿着构造块体之间的破碎带向上辟进(图2,4)。上地幔第一高导层隆起的中心位置的电阻率低于0.1 Ωm,这里可能是软流圈中热流体进入岩石圈的“进口”。

软流圈中的热流体进入岩石圈后,给岩石圈加入了大量的流体组分;这些流体在热的传递过程中起了很重要的作用,导致岩石温度升高,电阻率降低,形成电阻率明显低于周围相应层位的垂向条带。

软流圈中的热流体涌入岩石圈的过程中发生了一系列复杂的地球化学反应,壳幔过渡带的形成可能与此有关。其成因可能为:①上地幔岩浆侵入下地壳,壳幔相互混染,使莫霍面变模糊,上地幔顶部出现低速槽;②流体上涌过程导致下地壳底部产生上拱力,使莫霍面急剧向上隆起;③上地幔岩浆侵入下地壳,导致下地壳底部发生局部熔融,且下地壳物质发生重力分异,导致地壳底部出现P波速度居于7.0~7.8 km/s之间的高速体。

下地壳、中地壳和上地壳均呈上隆趋势,且地震波速度普遍高于周围相应层位的现象,是深部热流体上涌,导致岩石圈中存在上拱力的重要证据之一。

地表新生代侵入岩出露,礼县马泉以北等地有新生代碱性超基性火山岩分布,以及地表存在高热流区等现象则更直接地证明岩石圈内确曾发生过深部热流体上涌过程,而且深部热流体上涌发生的年代约为



①软流圈隆起的最高部位(电阻率低于0.1); ②上地幔低速槽

图4 天水地区岩石圈流体通道模型

Fig. 4 The deep subsurface hot fluid upwelling pathway model in Tianshui earthquake area.

新生代早期前后。

中地壳低速高导体的成因是一个很有争议的问题,主要观点有^[13-18]:①含水流体假说;②碳薄膜假说;③部分熔融假说;④剪切带假说等。

在我们选定的研究区内,如果壳幔相互作用的有关推测得以证实,中地壳低速高导体的形成过程很可能为:①中下地壳含水岩石高温脱水反应;②重力分异;③流体向上运移,并在地下15~20 km深度被封闭保留下来。

4 结论与讨论

天水强震区的深部构造与 Gregory 地堑的深部构造特征有很多相似之处,这种现象说明天水强震区深部构造的形成机理也与 Gregory 地堑有相似之处。深部热流体上涌在水强震区深部发震环境形成演化过程中起了非常重要的作用^[19-23]。

肯尼亚 Gregory 地堑系裂谷区;而天水地区虽有三条断裂从中通过,却未见典型裂谷特征。虽然如此,由于这两个地区深部热流体上涌的动力学机理有一定的相似之处,其对深部物质物性特征形成演化过程的影响也在一定程度上有相似之处,对比研究有助于揭示研究区内深部物质物性特征和前兆现象的形成机理。

[参考文献]

- [1] Martin H P Bott. The Interior of the Earth: it's structure, constitution and evolution(second edition)[M]. Edward Arnold,1982,62-68.
- [2] Maguyire P K H and Long R E. The structure on the western flank of the Gregory rift(Kenya). Part I. The crust[J]. Geophys. J. R. astr. soc., 1976,44,661-675.
- [3] Searle R C. Evidence from gravity anomalies for thinning of the lithosphere beneath the rift valley in Kenya[J]. Geophys. J. R. astr. soc. 1970, 21,13-31.
- [4] Griffiths D H, King R F, Khan M A, et al., Seismic refraction line in the Gregory rift[J]. Nature. Phys. Sci., Lond., 1971,229:69-71.
- [5] Long R E, Backhouse R W. The structure on the western flank of the Gregory rift. Part II. The Mantle[J]. Geophys. J. R. astr. soc., 1976,44: 677-688.
- [6] Girdler R W, Fairhead J D, Searle R c, et al.. Evolution of rifting in Afric[J]. Nature., 1969,224:1178-1182.
- [7] Oxburgh E R, Turcotte D L. Membrane tectonics and the earth African rift[J]. Earth and Planet. sci. Lett. (neth.), 1974, 22:133-140.
- [8] 国家地震局地质断面编委会. 青海门源至福建宁德地学断面[M]. 北京:地震出版社. 1992,25-26.
- [9] 林长佑,武玉霞,杨长福. 天水地区莫霍面附近的高导层及壳幔过度带[J]. 地震学报,1995,17(2):230-236.
- [10] 李清河,郭守年,吕德徽. 鄂尔多斯西缘及西北缘深部结构与构造[M]. 北京:地震出版社,1999.37-39,104-106,111-124.
- [11] 梁恕信,王非,师月水. 天水地区大地热流研究[A]. 见:中国地球物理学会年刊[C]. 北京:地震出版社,1992. 156.
- [12] 施锦,刘耀炜. 西秦岭北缘深部流体通道特征研究[J]. 地震,2002,22(4):35-41.
- [13] 顾芷鹃,郭才华,李彪,等. 壳内低速高导体的初步探讨[J]. 中国科学 B 辑. 1995,25(1):108-112.
- [14] 赵志丹,郭捷,周文戈,等. 秦岭和华北地区地壳低速层的成因探讨-岩石高温高压波速实验证据[J]. 地球物理学报. 1996,9(5): 642-651.
- [15] Clemens J D, Vielzeuf D. Constraints on melting and magma production in the crust[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1987,86:287-306.
- [16] 徐常芳. 中国大陆地壳上地幔电性结构及地震分布规律[J]. 地震学报,1996,18(2):254-296.
- [17] 徐常芳. 壳内高导层成因、高温高压下卤水物态及导电率[J]. 地震学报,1996,18(3):352-357.
- [18] 徐常芳. 壳内流体演化及地震成因(三)[J]. 地震学报,1997,19(2):139-144.
- [19] 车用太,刘五洲,鱼金子,等. 板内强震的中地壳硬夹层孕震与流体促震假设[J]. 地震学报. 2000,22(1):93-101.
- [20] 郑永飞. 化学地球动力学[M]. 北京:科学出版社. 1999.
- [21] Adam A. Geothermal effects in the formation of electrically conducting zone and temperature distribution in the earth[J]. Physics of the Earth and Planetary Interior, 1978,17:21-28.
- [22] R D Hyndman, L L Vanyan, G Marquis, et al., The origin of electrically conductive lower continental crust: saline water or graphite[J]. Physics of the Earth and Planetary Interior, 1993,81: 325-344.
- [23] 中国地震局监测预报司. 地震中短期预报物理基础研究[M]. 北京:地震出版社,2002. 80-82.

EFFECT OF DEEP SUBSURFACE HOT FLUID UPWELLING ON FORMATION AND EVOLUTION OF DEEP STRUCTURE IN TIANSHUI STRONG EARTHQUAKE AREA

SHI Jin^{1,2}, LIU Yao-wei^{1,2}, GAO An-tai²

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Comparing with the deep structure of Kenya Gregory rift, the formation, evolution process and characteristics of deep structure of Tianshui area are researched. In our view, the upwelling of the deep subsurface hot fluid has greatly affected the formation and evolution process of the deep structure in the area. The results are helpful in analyzing the mechanism of the seismogenesis.

Key words: Tianshui strong earthquake area; Deep structure; Subsurface hot fluid.



简讯

西部防震减灾学术研讨会暨

纪念兰州观象台建台 50 周年大会在兰州召开

为纪念兰州观象台建台 50 周年,继承和发扬老一辈科学家艰苦奋斗、百折不挠、求真务实、勇攀高峰的优良传统和热爱地震事业的崇高精神,推进西部防震减灾事业的发展,2004 年 9 月 15 日~16 日,西部防震减灾学术研讨会暨纪念兰州观象台建台 50 周年大会在兰州召开。中国地震局汤泉副局长、甘肃省人民政府省长助理郝远出席会议并做重要讲话。中国科学院丁国瑜院士、陈运泰院士、廖振鹏院士、法国宇宙科学院 John Lodden 副院长、联合国禁核组织 Luciana Astiz 女士、法国驻中国大使馆万玛丽女士、中国地震局各直属单位及兄弟省(市)地震局、省直有关单位的领导和专家,省内各市(州)地震局和中心台的代表以及曾在甘肃省地震局和兰州观象台工作过的老同志 120 多人参加了会议。

兰州观象台历史悠久,创建于 1954 年,是新中国成立以来,在我国西部最早建立的地震台之一,在国内外具有较高的知名度。担负着我国西北地区,特别是兰州地区地球物理综合观测和地震灾害监测预报的重要任务。兰州观象台的发展历程也是我省防震减灾事业发展历程的一个缩影。为作好地震监测,争创国际一流台站,同时造就一支“思想过硬、业务精通、纪律严明、精干高效”的地震工作队伍,拓展国际交流与合作领域,进一步提高兰州观象台的知名度,经中国地震局批准,特聘请中国科学院陈运泰院士担任兰州观象台名誉台长。

省长助理郝远在大会开幕式讲话中指出:我国西部地区历来地震活动频度高,强度大、烈度高。绝大多数地区都位于高烈度区,这些地区又是西部未来城市发展的主要地区。我省的防震减灾事业在省委、省政府的正确领导下,在各地区、各部门的大力支持和配合下取得了很大进展,有力地保证和促进了我省社会经济的协调发展,召开西部防震减灾学术研讨会对促进我省及西部地区防震减灾事业发展具有重要意义和深远影响。

中国地震局汤泉副局长在讲话中强调:兰州观象台是我国地震监测系统的元老台、创始台,是为我国地震事业做出过较大贡献的地震台。经过 50 年的不断发展,已由建台初期的单一测震手段发展到集多种观测手段为一体的综合台。希望甘肃省各级人民政府一如继往的关心支持观象台乃至甘肃省的防震减灾事业发展,并通过此次研讨会的召开,找出一条适合我国西部地震工作发展的新思路、新方法、新途径,使我国西部防震减灾事业有一个质的飞跃。

会议期间,中国科学院丁国瑜院士、陈运泰院士、廖振鹏院士作了专题报告,法国宇宙科学院 John Lodden 副院长和联合国禁核组织 Luciana Astiz 女士、法国驻中国大使馆万玛丽女士发表了热情洋溢的讲话;参会专家就西部防震减灾事业的发展进行了学术交流。

(蔡红卫)