

北纬 35° 线附近上地幔软流圈活动格局 与地震的关系*

郭安宁

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 北纬 35° 线是一条地震特发带, 上地幔软流圈对流方向恰好在该线附近发生转换. 研究表明, 北纬 35° 线附近上地幔软流圈活动格局与地震密切相关.

主题词: 地幔对流; 地震活动性; 北纬 35° 线

中图分类号: P315.2; P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)02-0144-05

0 前言

北纬 35° 线对地球的自转来说是一个特殊的纬度线. 由地球自转产生的离心力在赤道附近最大, 在两极附近最小, 因而两极物质凹陷, 赤道凸出, 在 35° 线附近恰是平衡点, 35° 线以北地壳下沉, 以南地壳凸起, 形成椭球. 另外太阳和月亮引潮力的长期项部分使得赤道到南北纬 35° 间的地带呈上升状态, 35° 至两极间的地带呈下降状态, 35° 线是交界线. 由于上述两个原因, 35° 线就成了地球自转离心力与潮汐力变化和交切的地带, 因而就可能引起上地幔的岩浆对流发生变化. 事实上, 中国大陆底下的地幔对流运动格局恰在 35° 线处发生变化, 流动方向转换, 这种转换可能导致深部地幔对流对其上方地壳力产生改变, 反映到上部地壳处 35° 线就是一个力变化带, 从而引起地震的频度和强度在 35° 线处增高, 本文将论述这些现象并探讨其原因.

1 35° 线附近的离心力和潮汐力变化

众所周知, 任何一个旋转系统都会产生向心力和离心力, 地球作为一个旋转的球体, 自然也会产生离心力, 在它上面任何一点处产生的离心力可表述为

$$F = m\omega^2 R \cos\varphi \quad (1)$$

式中 F 为离心力, m 为物体的质量, ω 为地球的自转角速度, R 为地球的半径, φ 为地心纬度. 由此式可以看出, 在赤道附近 $\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$, 离心力最大(最大值约为 $10\text{N}/\text{cm}^2$), 而在两极附近, $\varphi = 90^\circ$, $\cos\varphi = 0$, 离心力为零. 由于在赤道附近的自转离心力最大, 且向着外法线, 在长期缓慢的作用下地球的介质可视为一个塑性体, 因而该处的物质就要向外凸出. 按照物质的补偿原理, 该处物质的向外凸出必有别处的物质来调整补充, 而两极的离心力为零, 所以那里

收稿日期: 1998-03-12

* 地震科学联合基金资助项目(93140); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC1999019

作者简介: 郭安宁, 男, 1962 年出生, 副研究员, 现从事工程地震、地震地质及灾害学的综合研究.

的物质就势必移向赤道进行补充,结果导致赤道物质向外凸出,两极物质向内凹陷.大地测量结果也表明,赤道附近上升,而两极下降.假若地球的原始形态是圆球(图1),在离心力的长期作用下就会变成椭球.赤道是上升区,两极是下降区,从赤道到两极由上升区逐渐变为下降区,其间必有一个既不下降也不上升的中性面带,该面带就在35°线附近.

若地球的自转角速度值 ω 是变化的,则由此会产生附加力.如果 ω 在单位时间 Δt 内变化 $\omega + \Delta\omega$, 由此产生的附加力为

$$\Delta F = m(\omega + \Delta\omega)^2 R \cos\varphi - m\omega^2 R \cos\varphi \quad (2)$$

上式经简化,省去 $\Delta\omega^2$ 项后得

$$\Delta F = 2m\omega\Delta\omega R \cos\varphi = 2F_e \frac{\Delta\omega}{\omega} \cos\varphi \quad (3)$$

式中 $F_e = m\omega^2 R$, 附加力 ΔF 在地平坐标中可分解为垂直和平行于地平的两个分量

$$\Delta F_N = 2m\omega\Delta\omega R \cos\varphi = F_e(1 + \cos 2\varphi) \frac{\Delta\omega}{\omega} \quad (4)$$

$$\Delta F_{SN} = m\omega\Delta\omega R \cos 2\varphi = F_e \frac{\Delta\omega}{\omega} \sin 2\varphi \quad (5)$$

ΔF_N 主要改变着重力值 g 的大小, ΔF_{SN} 就是推动地壳发生运动的经向附加力.可见,当地球自转加快时, ΔF_{SN} 的方向是由赤道指向两极的,还可看出,在赤道和两极, ΔF_{SN} 均为零,在 $\varphi = \pm 45^\circ$ 时,它最大.另外当地球自转速度变化时,还有一个由切线加速度引起的纬向附加力

$$\Delta F_{EW} = m \frac{d\omega}{dt} R \cos\varphi = F_e \frac{\cos\varphi d\omega}{d^2t} \quad (6)$$

当地球自转加快时, $\frac{d\omega}{dt}$ 为正,附加力由东向西,反之由西向东,在两极处,此力为零,在赤道处,它为最大. ΔF_{EW} 的方向平行于纬线,若把地球视为一弹性体,则地球自转变化引起的应力场方向

如表1所示.由表1可以看出,35°线又是一个因地球自转变化引起的应力场的主应力方向的变化带.

对固体潮而言,在引潮力作用下,地球两极附近有一个永恒的低潮区,而在赤道附近则出现一个永恒的高潮区,它使得地球的扁率出现一个与天体赤纬有关的附加值.数学分析表明,该附加值在35°线处为零,越接近赤道其正值越大,越接近两极其负值绝对值也越大,数学分析上把该项称为带谐函数项.

表1 不同纬度地区地表层内的主应力方向

不同纬度区	加速过程 $\Delta\omega > 0$ 主应力方向	减速过程 $\Delta\omega < 0$ 主应力方向
低纬度 $0^\circ \sim 35^\circ$	东西拉应力 南北拉应力	东西压应力 南北压应力
中纬度 $35^\circ \sim 45^\circ$	东西拉应力 南北压应力	东西压应力 南北拉应力
高纬度 $45^\circ \sim 90^\circ$	东西压应力 南北压应力	东西拉应力 南北拉应力

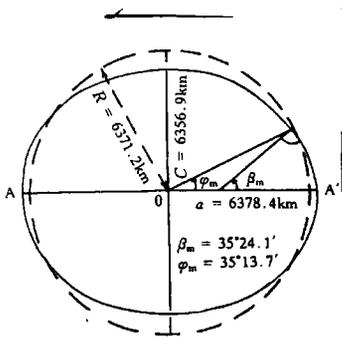


图1 近似于地球的
椭球体和球体

Fig. 1 Sphere and ellipsoid
similar to the earth.

- AA' 赤道; a 地理半径;
- c 最大地心半径; R 平均半径;
- φ 地心纬度; β 地理纬度;
- φ_m 平均地心纬度;
- β_m 平均地理纬度

2 中国大陆地幔对流格局与北纬35°线

文献[1]根据 Rancorn(1967)所推导出的地幔流在对流边界 $r = a$ 处应力方程和 Wagner 等(1977)所确定的 2~30 阶球谐函数系数^[2~4]获得了我国岩石圈下面的地幔对流模式(图2)。

由图2可看出,若以经度划分,我国西部(100°E以西)以近南北向地幔流为主,大致以西昆仑山、阿尔金山为界,以北为新疆发散流,以南为西藏汇聚流。我国东部(105°E以东)以近东西向地幔流为主,为向太平洋方向的扩散流。而100°~105°E的中部地带,则为地幔流方向转折带。总的来看,我国境内可分为4个区:新疆发散流区、西藏汇聚流区、中部流向转折区和东部向东扩散流区。

2.1 新疆发散流区

新疆发散流区以天山地幔流发散中心带为核心,该中心带与准噶尔地块和塔里木地块之间的晚古生代缝合线相当,其中心恰指天山。在发散流拖曳作用下,以天山为界,北面的岩石圈层随地幔流动方向向东北移动,形成了以北北东走向为主的拉应力场。在拉应力作用下,该地壳断陷,形成准噶尔构造盆地。天山以南,地幔流携带岩石圈层向南南西方向移动,形成北北东-南南西走向的张应力场,使得该地区地壳沉陷,形成了塔里木构造盆地。

2.2 西藏汇聚流区

它与古亚洲构造域和特提斯-喜马拉雅构造之间的界线相吻合。该界线在地质上是岩石圈断裂带,也是塔里木地块与西藏地块在古生代长期碰撞的缝合线。从现今沿断裂带地震活动的震源机制来看,继承着古生代末期的性质,仍以挤压为主。这与本地区地幔汇聚流牵引塔里木地块和西藏地块两者碰撞挤压是一致的。

由印度洋锡兰岛南西发散中心向北流动的地幔流,经印巴次大陆下面直抵昆仑山区之下,与新疆发散中心向南流动的地幔流相遇,形成汇聚流。西藏高原北缘的昆仑山下是地幔汇聚流的界限,其以北的地幔流牵动塔里木地块向南运动,以南的地幔流拖曳着印度地块向北漂流。在近南北向地幔流挤压应力场的作用下,产生大致平行的东西走向的褶皱和压性断层或压性剪切断层,形成褶皱山脉和断裂谷地,同时,也产生了近东西向的拉张力场,造成了北北东-南南西走向的张性正断层和地堑,形成了青藏高原的湖泊和盆地。这两股地幔流的交界挤压带恰在北纬35°线附近(图2)。

2.3 中部扩散流向转折过渡带

在东经100°与105°之间的地区,西部的地幔流近南北向,而东部是向东流动,由于本地区岩石圈层东西部受力方向不同,形成了巨大的剪切带,地震沿着剪切带活动,形成了著名的南北地震带。该带是以经度划分的,它把西部的新疆扩散流和西藏汇聚流格局与东部分隔开来。

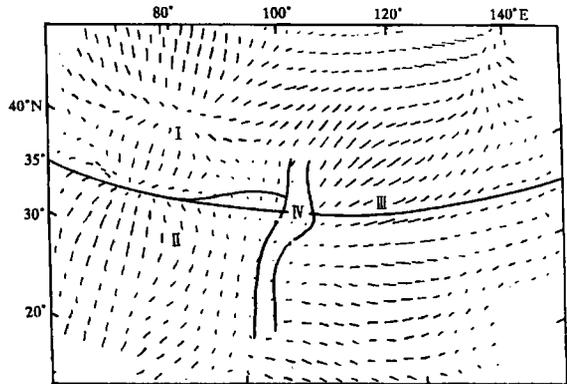


图2 中国大陆及邻区大地构造单元与地幔对流

Fig.2 Tectonic units and mantle convection in China and adjacent area.

- I 西域断块区或古亚洲构造域西部;
- II 西藏断块区或特提斯-喜马拉雅构造域;
- III 华夏断块区或滨太平洋构造域; IV 南北干涉带

2.4 东部向东扩散流

该区内地幔流从北而南, 流向由近东西转为北东, 再转为南东. 由图 2 可以看出, 北纬 35° 线是一个明显的转折带, 也是最重要的转折线, 在其以北的地幔流为北东流向, 以南为向东流. 在北边华北地区下面的地幔流牵引岩石圈层向东运移, 有人粗略估计, 新生代以来向东伸展了近 100 km, 在此作用下, 形成了一系列张性断裂带, 造成了半地垒半地堑的断块山地和谷地以及沉降平原和海盆. 北纬 35° 线以南的地幔流转为向正东方向扩散流动, 在它的控制下, 形成了尖端向长江上游的近东西方向的楔形拉张断裂带. 淮河平原、江汉平原、长江中下游平原的形成可能与它有关. 另一方面, 岩石圈层因向东运移而产生近南北走向的张性断裂带, 这可能是洞庭湖盆地、江汉盆地和鄱阳湖盆地形成的原因.

另外还有一个亚带, 大约在北纬 45° 线, 其以北的地幔流向东流动, 以南的向北东流动, 这个变化带与古蒙古地轴北缘断裂带位置相当.

综上所述, 从大的轮廓看, 中国大陆底下的地幔对流格局是以东经 100°~105° 为界划分为东西两块, 又以北纬 35° 线划分为南北两块.

3 沿北纬 35° 线附近的地震活动性

文献[5]从频度上统计了全球 $M \geq 7.0$ 地震随纬度的分布(图 3). 结果表明, 在北半球北纬 30°~40° 地带的地震频度最高.

北纬 35° 线与中国大陆地区构造线和地震带相交会的部位多有大震发生. 从东向西数, 在山东北北东走向的郯庐大断裂与北纬 35° 线交会处发生了 1668 年 7 月 25 日的 8.5 级大震; 又在山东, 北北东走向的聊考断裂带与 35° 线交会处发生了 1937 年 8 月 1 日的 7 级地震; 在秦晋之交, 北东向的汾渭断裂带与 35° 线交会处发生了 1556 年 1 月 23 日的华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震; 在甘肃北北东向的南北地震带与 35° 线交会处发生了天水 1654 年 7 月 21 日 7.5 级地震和 1718 年通渭 7.5 级地震; 在青海省北西向库玛断裂带与 35° 线交会处发生了 1937 年 1 月 7 日的托索湖 7.6 级地震; 在藏北沿 35° 线附近发生了 1973 年 7 月 14 日的纳吉错 7.3 级地震.

从中国大陆地震地质和地震震中分布来看, 我国绝大多数地震都发生在南北地震带(100°~105°E, 40°~23°N). 就板内而言, 南北地震带与 35° 线交汇区附近是地震的集中区, 与 25° 线交汇区附近也是一个集中区. 其次还有一个地震集中区, 其南北边界为 35°N 到 45°N, 其东西边界为从南北地震带到 120°E 线.

35° 线好象是一条奇妙的线, 吸引着中国大陆很多的大震在它周围发生, 尤其在 35° 线以北的地区(大华北地震带).

4 35° 线与地幔对流和地震发生的关系

由前述可知, 35° 线对应于一个剪切带. 从剖面上看, 北边下降, 南边上升, 因而这是一个剪切剖面. 对于地球自转的加速和减速过程而言, 它又是一个主应力变化线, 因而对于固体地壳的中国大陆而言, 来自太平洋板块和印度洋板块的挤压在此就要形成应力集中并产生大的破

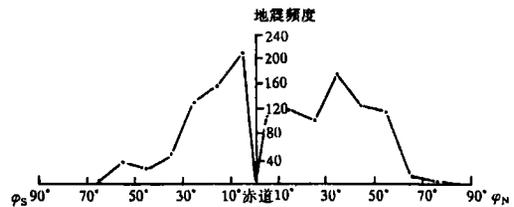


图 3 全球 $M \geq 7$ 地震随纬度的分布曲线(1904~1984 年)

Fig. 3 Distribution curve of global $M \geq 7$ earthquakes with latitude (from 1904 to 1984).

坏.南北带西边的昆仑山大断裂带可能就是这种成因,它绵延数千公里至阿尼玛卿山结束.破裂的产生让上地幔的岩浆侵入上升到浅部(这可能就是西藏地区地下地震波被强烈吸收的缘故),再加之印度洋板块挤压,致使地壳上隆和岩浆上涌,为岩浆的分异运动创造了条件.在南北带以东,沿北东方向发育的断裂在遇到 35° 线的交切剪切带时,该剪切带与主应力方向改变带相遇阻止了断层的通过,迫使它停止和转向.当一部分大断层通过后,在 35° 线就会形成闭锁点,因而容易发生地震.

对于下地幔软流圈的岩浆来说, 35° 线以北为岩浆下沉区,总趋势是岩浆向下向赤道方向集中,因而在重力分异对流的影响下形成一个大的对流循环;而 35° 线以南为岩浆上升区,也形成一个循环.南北半球两循环体的交界带就是 35° 线,这两个大循环对流体的相互影响就变成了流速的转向带,地幔流的转向必定使浮在上部的地壳以不同方向运动,因此在 35° 线形成差异应力集中区和闭锁区以积累巨大能量而发生大地震.

对于 35° 线以北的华北而言,太平洋板块挤压的最大剪应力方向是北东向,其地幔流驮浮地壳运动的方向也是北东向,两力相加之后其构造运动必然强烈,因而在该区段内导致应力集中形成地震高发区.

按照以上的分析,在南北纬 35° 线上都应该出现应力集中而形成地震多发带,但事实上只在北半球的 35° 线上出现地震高发带,而在南半球的 35° 线上却没有出现地震高发带,在南半球,越靠近赤道发生地震的频度越高.针对这种现象可能有两种解释:①南北半球对比,北半球多陆壳而南半球多洋壳,陆壳比洋壳多含一层硅铝层,而硅铝层岩石的应力松弛时间比硅镁层岩石的长,因此能积累更大的应力而发生大震,这也可能就是陆壳地震较洋壳地震频度高强度大的原因;②在北半球,由于几大板块的碰撞,在 35° 线地幔对流和板块挤压联合作用下易于形成地震高发带,而南半球却缺乏这种条件,它多是由板内较稳定的地区和地盾组成的,地震不易发生,从而导致南北半球地震随纬度分布的差异性.

5 小结

以上从地球运动的动力学原理讨论了北纬 35° 线的应力问题,又从北纬 35° 线地幔流的特征讨论了沿该线地震高发的原因,试图对北纬 35° 线的地震特发作些解释,从而为北纬 35° 线地震危险性高于其它纬度的结论奠定一定的物理基础.

参考文献

- [1] 黄培华,等.中国大陆地幔对流和岩石圈层构造运动[J].地质科学,1984,(3):235~242.
- [2] Runcorn S K. Flow in the mantle inferred from the low degree harmonics of the geopotential[J]. Geophys. J. R. Astron. Soc., 1967, (14):375~384.
- [3] Lin H S. Mantle convection pattern and subcrustal stress field under Asia[J]. Phys. Earth Planet Inter, 1978, 16:247~256.
- [4] Wanger C A, et al. Improvement in the geopotential derived from satellite and surface data (GEM 7 and 8)[J]. J. Geophys. Res., 1977, 82:901~914.
- [5] 高建国.地球自转角速度变化触发地震的初步讨论[J].科学通报,1981,26(5):293~296.

(下转 166 页)

- [7] 梁鸿光. 减灾必读[M]. 北京:地震出版社, 1990.
 [8] 张述勇. 结构抗震基本知识[M]. 北京:清华大学出版社, 1989.

STUDY ON THE DAMAGES OF THE GONGHE $M_S7.0$ EARTHQUAKE AND ITS STRONG AFTERSHOCKS IN QINGHAI PROVINCE

ZHANG Qi-sheng¹, ZHANG Min¹, LI Dong-mei²

- (1. *Seismological Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China*;
 2. *Seismological Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China*)

Abstract

Based on the reports about investigation and disaster evaluation of the Gonghe $M_S7.0$ earthquake and its strong aftershocks, the direct damages of these earthquakes are systematically summed up, the distribution regularity of earthquake damages is studied and their causes are analysed. There is the cause of human action besides geological reason. Only following natural law can we rebuild our homeland better.

Key words: Qinghai; Strong aftershock; Gonghe $M_S7.0$ earthquake; Earthquake damage

 (上接 148 页)

RELATIONSHIP BETWEEN EARTHQUAKES AND THE ACTIVITY PATTERN OF ASTHENOSPHERE IN UPPER MANTLE ALONG THE 35°N LINE

GUO An-ning

(*Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China*)

Abstract

The north latitude 35° line is a special earthquake activity belt. The convection direction of asthenosphere in upper mantle bends just near the line. Study results show that activity pattern of asthenosphere in upper mantle along the 35°N line is closely related to earthquakes.

Key words: Mantle convection; Seismic activity; North latitude 35° line