

# 地震破裂的科里奥利力的余震效应在 中国大陆外的震例研究及普适性讨论<sup>①</sup>

郭安宁, 郭增建, 任 栋, 赵乘程, 张炜超

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**对地震发生时快速错动的断层两盘产生的科里奥利力的研究做了简短回顾, 以此理论与方法对中国大陆外的部分震例, 包括中国台湾地区及中亚土耳其地区发生的大地震的余震进行讨论, 并简短讨论了地震破裂的科里奥利力效应预测余震强度用于全球的普适性问题。

**关键词:** 地震破裂; 断层两盘; 科里奥利力; 余震效应; 台湾地区; 土耳其; 普适性讨论

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)增刊 1-0086-04

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.01.0563

## Case Research on Aftershock Effect of Corioli Force Caused by Earthquake Rupture Outside Chinese Mainland and Discussion of Its Normative Universality

GUO An-ning, GUO Zeng-jian, REN Dong, ZHAO Cheng-cheng, ZHANG Wei-chao

(Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** This study firstly gave a brief retrospection of the research on Corioli force since it was advanced. Corioli force is generated due to the rapid movement of two fault walls during earthquake. Base on this theory, the aftershocks of some earthquakes which occurred outside the Chinese Mainland, including some large earthquakes in Taiwan, and Turkish of Central Asia, were discussed. Furthermore, Corioli force effect caused by earthquake rupture can be used to predict the magnitude of aftershocks and its normative universality over the world was also analyzed.

**Key words:** earthquake rupture; two fault sides; Corioli force; aftershock effect; Taiwan area; Turkish; normative universality discussion

### 0 引言

大地震发生的过程是发震断层盘在短时间内呈高速运动对错, 直至最后停止的有限时间与空间过程。在地球上, 任何物体与地轴作相对运动时都会产生科里奥利力, 断层快速破裂的过程也会产生科里奥利力。科里奥利力决定了断面再次震级的大小及余震的强弱。该理论与方法已提出近 30 年, 在 30 年里其理论不断完善, 震例的验证总结积累也不断进行。过去针对科里奥利力效应的研究主要集中在

在中国国内进行, 对国外地震的情况讨论较少, 本文针对中亚的土耳其地区的大地震震例进行了研究与讨论。另外前期针对中国的地震讨论多是板内型地震, 而本文对中国台湾地区属于板块边缘的地震震例进行讨论, 并在两个地区震例研究的基础上, 初步对科里奥利力的全球普适性问题进行讨论, 以期能对固体地球物理中科里奥利力效应的理论与方法进行完善, 对地球物理的基础理论进行更全面的完善。更重要的是, 其作为一种独立的指标, 能对大地震的

<sup>①</sup> 收稿日期: 2015-04-01

基金项目: 国家科技部公益专项(201208001); 甘肃省科技档案项目(2013-2), 甘肃省地震局地震科技发展基金项目资助

作者简介: 郭安宁(1962-), 男, 研究员硕士生导师, 中国地震局兰州地震研究所, 从事地震预测, 构造物理与灾害预测研究

余震强度预测的准确性提高有着实际意义。

## 1 科里奥利力效应预测最大余震的方法简介

### 1.1 科里奥利力介绍

科里奥利力是在自转着的地球上的物体以某种速度与地球作相对运动时产生的力。这个力是为纪念法国数学家 Corioli(1795~1843)而命名,中文即为科里奥利力,简称科氏力。1985年由上海辞书出版社出版的《气象学辞典中》,对此力的说明是它是由于地球自转引起的一种虚力。虚力的意思是这个力只能改变空气运动的方向,而不能改变空气相对于地球运动的速度。在这里空气就是“物体”的一种。在1996年由地震出版社出版的《简明地球科学辞典》译本中对科氏力的说明是:地球自转引起的作用在地球表面运动物体上的视在力(视在力也是虚力的意思)。它引起的运动的物体、洋流和气流在北半球向右偏转,在南半球向左偏转。这种力与运动物体的速度和纬度成正比,因而它从赤道处的零值变化至两极的最大值。

以上是辞典上对科氏力的解释,科氏力大小还与运动物体的质量成正比。在科普书上对该力列举的实例也较多。如北半球,河流在其水流前进方向的右岸冲刷较厉害,火车对前进方向右边的铁轨磨损厉害,天文馆中的佛科摆边摆边向摆动方向的右侧偏移就是科氏力所起的作用。科氏力的解析表达式为:

$$F_c = 2mv\omega \sin \varphi \quad (1)$$

式中: $F_c$ 为科氏力的大小; $m$ 为物体的质量物体运动的速度; $\omega$ 为地球自转的角速度; $\varphi$ 为物体所在的纬度。科氏力的方向是这样确定的,把地轴方向平移到观察运动物体的着眼点上来,使地轴方向与物体运动速度方向交会于着眼点,两者构成一个平面。设想用一螺旋的尖垂直对着着眼点,再用螺旋柄由速度方向向地轴方向旋转,则螺旋的移动方向(前进或后退)即为科氏力的方向。如物体速度方向与地轴方向之间夹的角度大于90度,则按小角由速度方向向地轴方向旋转求科氏力方向。

### 1.2 科氏力余震效应的提出

在大地震发生时,断层盘快速错动,这个错动相对于自转的地球整体来说是相对运动,因此也应当有科氏力。1992年郭增建在《未来灾害学》中把科氏力应用于大震时震源断层的错动<sup>[1]</sup>,并进而提出由此力可对主震后最强余震的强度进行预测,可称为科氏力余震效应。在北半球,对于右旋走滑错动,

其两盘的科氏力使两盘互相挤压,故不利于断层彻底释放能量,因此主震后余震震级大,一般与主震震级之差小于1级。对于左旋走滑错动,其两盘的科氏力使两盘互相拉离,因此有利于主震时释放能量,所以最大余震的震级小,与主震震级之差大于1级。震源错动的科氏力大小与震级和断层盘错动速度有关。如每秒错动1m,单断层盘的厚度取1km,则在断层面上的科氏约为1N,即105 dyn/cm<sup>2</sup>。实际上错动速度有时可达10m的量级,震级大时,单盘断层厚度可取10km,这样作用在断层面上的科氏力就较大。

1993年郭增建等<sup>[2]</sup>进一步讨论了走滑、逆断层错动、正断层错动以及平滑断层错动的科氏力方向,确定科氏力使两断层盘是互相挤压还是互相拉离。1994年郭增建和陈家超<sup>[3]</sup>得出对于7级以上地震科氏力在断层面上的压应力和张应力量级约为一个大气压,即106 dyn/cm<sup>2</sup>,并指出1966年邢台大震、1975年海城大震和1976年唐山大震是符合科氏力余震效应的。

### 1.3 科氏力余震效应的发展

1994年作者<sup>[4]</sup>鉴于以前对科氏力方向是定性确定,且当震源断层错动是走滑兼倾滑时不易直观确定科氏力的方向以及它在断层面法线方向上的分量,所以提出了吴氏网法来求解。这适用于任何类型断层错动以及任何错动方向的震源。

1995年,陈家超等<sup>[5]</sup>对中国境内诸活断层上今后发生强震时的科氏力余震效应进行研究,以了解发生大震后断层类型与余震强弱的关系。该研究的前提是大震多沿活断层发生,并且两者的错动类型一致(特别是对于走滑来说),因此可用全国活动断层的走向以及错动性质推测将来沿它们发生7级以上地震时其科氏力余震效应,即将来是余震的强弱。这一点对烈度区划是有用的,因为一次主震和其后再加一次强余震或续发性强震所造成的烈度是不同的。

为了在实际强余震预测中用科氏力余震效应预测最大余震强度,必须知道我国以往7级以上地震中符合科氏力余震效应的比例。1998年笔者<sup>[6]</sup>统计得出7级以上地震约有81%是符合科氏力余震效应的<sup>[6]</sup>,这就是说如果用科氏力余震效应去预测国内7级以上大震最大余震的震级,则有81%的可靠性。

2003年吕坚<sup>[8]</sup>对中国大陆1900年以来19次 $M \geq 7.5$ 级地震作了统计,发现有18次符合科氏力

余震效应。这就是说,地震越大,其符合科氏力余震效应的比例越高,其预测余震最大强度的可靠性越大。

### 3 中国台湾地区的科氏力余震效应

对于我国台湾来说,岛内构造与大陆相似,所以其7级以上地震也和大陆一样具有科氏力余震效应,如1906年嘉义大震、1935年新竹大震、1941年台南大震和1999年南投大震,如图1所示(1999年南投大震是逆断层错动,在图1中未画出)。但在台湾岛东缘靠近深海沟,即靠近太平洋板块西缘的地带发生的大震就不符合科氏力余震效应,如1951年10月22日台湾凤林地区的两次7级以上地震,以及1951年11月25日台湾台东和大港附近的两次7级以上地震(图1)。这个例子说明,环太平洋地震带上的大震震源环境与大陆不同,因此之余震情况也不同。

### 4 日本和土耳其某些大震的科氏力余震效应

1891年浓尾大震( $M=8\sim 8.4$ )是日本内陆历史上最大且已确定发震断层为左旋走滑类型,其最大余震发生在1894年1月10日,震级为6.9级<sup>[9]</sup>。这是符合科氏力余震效应的。此外1923年日本关东大震(8级),按金森博雄等<sup>[10]</sup>的研究,其震源为右旋走滑为主兼逆断层错动,走向为NWW,上盘向SSW方向逆冲,断层面面向北20°东倾斜,其最大余震为7.3级(按宇佐美龙夫),这也符合科氏力余震效应。这两个地震是日本最著名的2次8级左右地震。

据韩竹军等<sup>[11]</sup>的,1939年12月26日在土耳其北安纳托利亚右旋走滑断层东段发生爱津兼7.9级地震,1942年12月2日在爱津兼大震极震区西段内发生7.1级地震,如图2所示。因此把1939年7.9级地震当作主震,把1942年的7.1级地震当作最大余震,两者震级之差为6.7级。这是符合右旋走滑断层的科氏力余震效应的。

图2中,1943年11月26日北安纳托利亚断层上发生了另一个大震,震级为7.6级,极震区如图2所示。在极震区西端相接处于1944年2月1日发生了7.3级地震。把上述7.6级地震当作主震,把过了67天发生的7.3级地震当作最大余震,则两者的震级差为0.3级,也是符合科氏力余震效力的。

再有1957年和1967年在上述7.3级地震西各发生7.0级和7.1级地震(图2),由于缺乏其后的最强

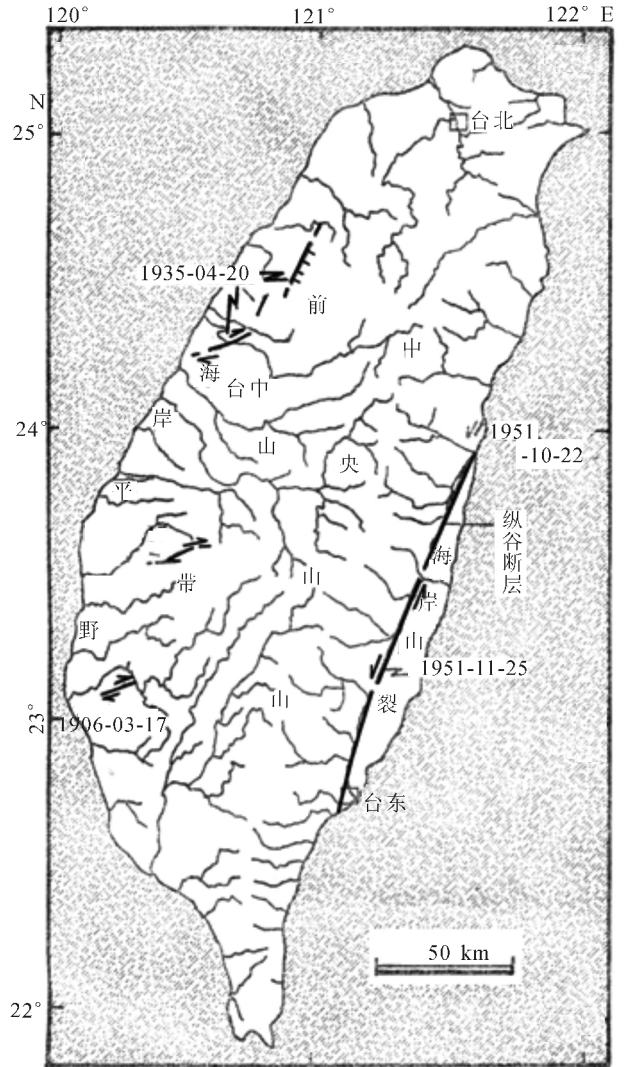


图1 台湾岛内和其东缘大震错动<sup>[8]</sup>

Fig. 1 Faults movement caused by large earthquakes in Taiwan Island and its east margin<sup>[8]</sup>

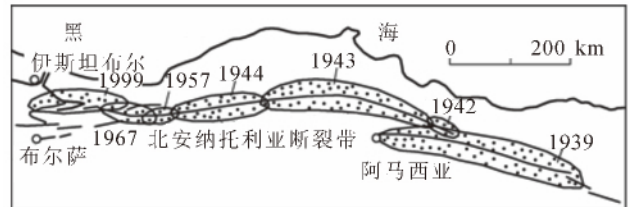


图2 土耳其北安纳托利亚断层上的大震活动

Fig. 2 Activity of large earthquakes on North Anatolian Fault, Turkey

余震资料,无法讨论其是否符合科氏力余震效应。

1999年8月12日在北安纳托利亚大断层西段伊兹米特发生7.8级地震(美国地质调查所测定,我国亦定为7.8级,土耳其定为7.4级)。于1999年11月13日在上述7.8级大震极震区的东端相接处又发生7.5级地震(迪兹杰市附近)。把前者当作主

震,后者当作最强余震,则两者震级之差为 0.3 震,也是符合科氏力余震效应。

以上所讨论的每个主震和其最大余震,其震源错动都和北安纳托利亚断裂的错动一致,即都是右旋走滑错动。

总结北安纳托利亚断层带上的地震活动,发现 7 级以上地震大都符合科氏力余震效应;如取 7.5 级以上地震,则全符合。

土耳其东部的东安纳托利亚断层为左旋走滑,本可按上述原理验证科氏力余震效应,但该断裂带上无 7 级以上大震,而 7 级以下地震则无验证意义。

根据上述讨论,可知在大陆地区科氏力余震效应是存在的,但在环太平洋的板块边界带上因构造情况复杂,尚未进行研究,留待以后再进行详细研究。

### 3 用科氏力预测最大余震的普适性讨论

#### 3.1 科氏力余震效应在全球的统计问题

盛中书等<sup>[12]</sup>认为断层错动的科氏力是存在的,但用全球 7.5 级以上地震的最大余震的统计结果去验证我们在中国大陆和邻区得出的 7 级以上地震其最大余震 81% 符合科氏力效应的结果<sup>[6-7]</sup>,其结论是未能验证。

该文与本文所得结论不同,其原因在于大震震源状况很复杂,板间和板内地震亦有差异,例如台湾岛的构造与大陆构造相近,故都存在科氏力余震效应,而靠近深海沟的太平洋板块边界处则该效应不符合。从表象上看,科氏力对余震的效应在全球具有分区特点,这点是该文的意义。

我们已往研究的对象是大陆地区。除我国大陆和邻区外,发现日本内陆的 7 级以上大震大都符合科氏力余震效应,土耳其的北安纳托利亚断层带上大震甚多,也大都符合科氏力余震效应,7.5 级以上大震全符合。但是未做全球的统计。而文献<sup>[12]</sup>也仅指出局部现象的存在。因此认为,用科里奥利力效应预测余震强度用于全球的普适性问题用简单的统计方法得出结论是不对的,因为地球上科里奥利力的大小不仅与纬度有关,并且还须与运动方向和地轴所夹角度有关,因此必须分区进行讨论才能得出正确结论,同时也需要分析断层破裂的运动方向与地轴所夹角度的情况后才能得出正确的结论。

#### 3.2 科氏力在震源断层面的压力(或张力)量级问题

在文献<sup>[3]</sup>中曾得提出到科氏力在断层面的上的

压力(或张力)是一个大气压的量级,即  $106 \text{ dyn/cm}^2$ 。盛中书等<sup>[12]</sup>也得出同样的量级,即 0.1 Mpa,也就是一个大气压。不过对此量级的压力(张力)能否对余震的最大强度产生影响,我们与文献<sup>[12]</sup>的意见不同。盛等认为此量级太小,不足以影响主震时震源断层释放能量的程度。我们则认为可以影响。由于  $104 \text{ dyn/cm}^2$  量级的引潮力可以触发大地震,那就说明只要震源断层面的剪切应力略高于摩擦力则震源断层就会错动发震。在此情况下摩擦力随时都在企图阻止断层错动,此时如断层盘运动产生的科氏力使断层两盘互相挤压或互相拉离,都可以影响主震释放能量的程度,因此科氏力对余震的效应是存在的。例如在我国大陆就是如此。即互相挤压不利于震源释放能量,因此主震与余震震级之差小于 1 级,如是互相拉离,则其差大于 1 级。在求科氏力量级的时候,不要忘记断层两盘是相对错动的,因此要对单盘错动的科氏力乘以 2。

#### 3.3 关于统计区的差异

作者等的统计区是中国大陆和邻区<sup>[7-8]</sup>,盛中书等的统计区是全球。由于全球情况复杂,建议在对全球统计时应把赤道两侧 15 个纬度范围内的大震另作统计,因为在此范围内科氏力为零或很小,不属于讨论科氏力余震效应的范围。另外还建议对阿留申群岛的大震另作统计,因为该区俯冲带的断层走向近东西向,逆断层上盘的错动方向几乎在子午面内,在此情况下科氏力的方向几乎沿断层走向紧贴断层面,此时断层面法线方向上的压力(张力)甚小,不属于以法向压力(张力)讨论余震强度的问题。

### 4 结论与讨论

(1) 地震发生时快速错动的断层两盘产生的科里奥利力效应用于强余震的强度预测,作为独立的方法在近几十年的理论与方法的完善中证明是可行的,用中国震例总结有 81% 的验证适用性。

(2) 用板块边缘的台湾与日本个别震例进行了讨论,证明在这种类型的震例中也是适用的。

(3) 对中亚土耳其地区的大地震的余震进行讨论,并证明也是适用的。

(4) 科里奥利力效应预测余震强度用于全球的普适性问题,用简单的统计方法得出结论是不对的,因为地球上科里奥利力的大小与纬度有关,并且与运动方向与地轴所夹角度有关,因而必须分区进行讨论才能得出正确结论,同时也需要分析断层破裂的运动方向与地轴所夹角度的情况下才能得出正

确的结论。

### 参考文献(References)

- [1] 郭增建,秦保燕,李革平.未来灾害学[M].地震出版社,1992.
- [2] 郭增建,秦保燕,郭安宁.震源断层盘错动的柯氏力方向讨论[J].西北地震学报,1993,15(4):51.
- [3] 郭增建,陈家超.柯氏力与强余震讨论[J].西北地震学报,1994,16(2):96.
- [4] 郭安宁.用吴氏网法推求震源地方科氏力的方向[J].西北地震学报,1994,16(2):23-28.
- [5] 陈家超,郭安宁.用柯氏力讨论地质构造与强余震或续发性大震之间的关系[J].西北地震学报,1995,17(1):47-50.
- [6] 郭安宁,陈家超.科里奥利力效应及对强余震预报方法的研究(三)——预报的具体方法步骤及其在烈度区划中的意义[J].高原地震,1998,10(4):28-34.
- [7] 郭安宁,陈家超.科里奥利力效应地强余震预报方法的研究(二)——预报方法的验证,准确分析[J].高原地震,1998,10(3):23-29.
- [8] 吕坚,高建华,刘吉夫,等.有关科里奥利力效应与昆仑山口西8.1级地震余震活动趋势的讨论[J].地震学报,2003,25(4):432-440.
- [9] 加藤贞一.地震与活断层科学[M].\[s.l\]:朝仓书店,1989.
- [10] 金森博雄,安藤雅孝.关东大震的断层模型[C]//关东大地震.50周年纪念文集东京大学地震研究所编,1973:89-101.
- [11] 韩竹军,张国民.伊兹米特地震发生的构造环境分析[J].国际地震动态,2000(1):1-7.
- [12] 盛书中,万永革,田力.科里奥利力对断层作用的统计研究[J].中国地震,2009,25(3):256-264.