科氏力对中国大陆地区 $M_S \geqslant 7.0$ 地震强余震的影响分析*

武安绪

（北京市地震局，北京 100080）

摘要：利用 1966—2017 年中国大陆地区发生的 28 次 $M_S \geqslant 7.0$ 地震资料，在仅考虑科氏力在断层面外法线方向的投影分量 $\boldsymbol{F}_n$ 的基础上分析了余震与受到的科氏力之间的关系。$\boldsymbol{F}_n > 0$ 表明科氏力使断层面松弛，将减小断层面上的摩擦力，有利于断层面错动并释放能量，余震的强度较小；反之，余震的强度较大。结果表明：15 次 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 的地震中，有 14 次地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$，占 93.3%；而 13 次 $\boldsymbol{F}_n < 0$ 的地震中，只有 5 次地震的主－余震震级差 $\Delta M < 0.8$，占 38.46%。根据符号检验法可知，当 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 时，发生地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$ 具有显著性，在 $\alpha = 0.01$ 显著性水平下通过显著性检验。因此，在实际地震趋势判定工作中，利用 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 对地震的余震进行判定将更为可靠。

关键词：中国大陆地区；科氏力；强余震

中图分类号：P315.72　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000－0666(2019)01－0020－04

0　引言

由于地球自转，在地表运动的物体会受到科氏力的作用。强震发生时，断层面发生错动，两侧的岩体发生相对运动，运动的岩体也会受到科氏力的作用。科氏力的作用可以使断层面松弛，减小断层面上的摩擦力，使断层面变得容易错动，有利于能量释放；也可以使断层面压紧，增加断层面上的摩擦力，使断层面不容易错动，不利于能量释放。

基于此，郭增建等（1992）将科氏力应用于强余震的预测，之后虽然开展了一些研究（陈荣华，刘杰，2005；郭安宁，陈家超，1998a，b，c；郭安宁等，2015；郭增建等，1992；郭增建，吴谨冰，2001；郭增建，郭安宁，2009；郭增建，2012a，b，c，d；李少梅，2013；吕坚等，2003，2006；盛书中等，2009），但是对于中国大陆地区发生的 $M_S \geqslant 7.0$ 地震，其余震的强度是否与主震发生时所受到的科氏力有关，仍然没有定论，本文使用 1966—2017 年中国大陆地区发生的 28 次 $M_S \geqslant 7.0$ 地震，分析科氏力对其强余震的影响。

1　研究方法与资料

1.1　方法

以速度 v 运动的物体受到的科氏力 $\boldsymbol{F}$ 为：

$$\boldsymbol{F} = 2mv \times \boldsymbol{\omega} \tag{1}$$

式中：m 为物体的质量；$\boldsymbol{\omega}$ 为地球自转角速度。

在地震断层面发生错动的情况下，取如下直角坐标系：x 轴指向东，y 轴指向北，z 轴垂直地面向上，且相应的单位矢量分别为 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$ 和 $\boldsymbol{k}$。

若地震震中纬度为 φ，则

$$\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}_0(\cos\varphi \boldsymbol{j} + \sin\varphi \boldsymbol{k}) \tag{2}$$

式中：$\boldsymbol{\omega}_0$ 为 $\boldsymbol{\omega}$ 的大小。

设断层面的走向为 α，倾角为 δ，滑动角为 λ，则有：

$$v = v_0[(\cos\lambda\sin\alpha - \sin\lambda\cos\delta\cos\alpha)\boldsymbol{i} + (\cos\lambda\cos\alpha + \sin\lambda\cos\delta\sin\alpha)\boldsymbol{j} + \sin\lambda\sin\delta\boldsymbol{k}] \tag{3}$$

根据式（1），（2）和（3），可以得到地震导致断层面发生错动时受到的科氏力 $\boldsymbol{F}$。由于目前

* **收稿日期**：2018－07－10.
基金项目：国家自然科学基金（41474087）、地震科技星火计划（XH16003）和中国地震局三结合项目（SJH104）联合资助.

尚无法准确地得到质量 m 和速度 v（即使利用某些经验方法得到了它们，其结果也是不准确的，有时可能与真实情况相差较大），为此我们只考虑科氏力对地震断层错动的定性影响。将科氏力 $\boldsymbol{F}$ 投影到断层面的外法线方向，如果所得到的外法线方向的分量大于 0，则表明科氏力使断层面松弛，将减小断层面上的摩擦力，有利于断层面错动并释放能量，余震的强度较小；反之，余震的强度较大。

断层面外法线方向的单位矢量 $\boldsymbol{n}$ 为：

$$\boldsymbol{n} = \sin\delta\cos\alpha\boldsymbol{i} - \sin\delta\sin\alpha\boldsymbol{j} + \cos\delta\boldsymbol{k} \tag{4}$$

将 $\boldsymbol{F}$ 投影到 $\boldsymbol{n}$ 方向上，可得到：

$$\boldsymbol{F}_n = 2m\boldsymbol{\omega}_0[v_x(\sin\varphi\sin\delta\sin\alpha + \cos\delta\cos\varphi) + (v_y\sin\varphi - v_z\cos\varphi)\sin\delta\cos\alpha] \tag{5}$$

式中：$v_x = v_0(\cos\lambda\sin\alpha - \sin\lambda\cos\delta\cos\alpha)$；

$v_y = v_0(\cos\lambda\cos\alpha + \sin\lambda\cos\delta\sin\alpha)$；

$v_z = v_0\sin\lambda\sin\delta$。

1.2　资料

本文利用中国大陆地区 1966—2017 年发生的共 28 次 $M_S \geqslant 7.0$ 地震（表 1），根据其发震断层面参数，分析科氏力对其余震的影响。

2　结果与分析

若 $\boldsymbol{f}$ 为 $\boldsymbol{F}$ 方向的单位矢量，则 $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_0\boldsymbol{f}$，将其投影到 $\boldsymbol{n}$ 方向上，得到 $\boldsymbol{F}_n$。表 1 中给出了中国大陆

表 1　中国大陆地区 $M_S \geqslant 7.0$ 地震及 $\boldsymbol{F}_n$ 与 F_0 的比值

Tab. 1　Parameters of the $M_S \geqslant 7.0$ earthquakes occurred in China Mainland and the ratio of $\boldsymbol{F}_n$ to $\boldsymbol{F}_0$

发震日期	震中位置		M_S	走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	$\boldsymbol{F}_n/\boldsymbol{F}_0$	M_a	ΔM	参考地名
	φ_N/(°)	λ_E/(°)								
1966-03-22	37.53	115.05	7.2	19	90	180	-0.61	6.2	1.0	邢台
1969-07-18	38.12	119.24	7.4	20	80	-165	-0.44	5.1	2.3	渤海
1970-01-05	24.10	102.62	7.8	306	87	-173	-0.3	5.7	2.1	通海
1973-02-06	31.30	100.70	7.6	125	87	0	0.56	6.0	1.6	炉霍
1973-07-14	35.10	86.50	7.3	79	69	2	0.82	6.0	1.3	玛尼
1974-05-11	28.20	104.10	7.1	326	80	-7	0.47	5.7	1.4	大关
1974-08-11	39.21	73.81	7.3	303	88	-174	-0.56	6.4	0.9	乌恰
1975-02-04	40.65	122.80	7.3	290	81	-15	0.58	5.4	1.9	海城
1976-05-29	24.37	98.63	7.3	323	80	-172	-0.2	7.4	-0.1	龙陵
1976-05-29	24.55	98.75	7.4	242	88	0	0.39	6.6	0.8	龙陵
1976-07-28	39.40	118.00	7.8	30	90	-180	-0.63	7.1	0.7	唐山
1976-08-16	32.70	104.10	7.2	166	51	60	0.98	7.2	0.0	松潘
1976-08-23	32.49	104.08	7.2	172	45	72	0.94	5.2	2.0	松潘
1985-08-23	39.58	75.60	7.4	315	29	159	-0.04	6.8	0.6	乌恰
1988-11-06	22.83	99.72	7.6	333	78	174	-0.38	7.2	0.4	澜沧
1988-11-06	23.38	99.60	7.2	338	77	138	-0.8	6.7	0.5	澜沧
1990-04-26	36.04	100.39	7.0	123	61	35	0.94	5.5	1.5	共和
1995-07-12	21.98	99.07	7.3	330	89	175	-0.43	5.1	2.2	孟连
1996-02-03	27.30	100.22	7.0	6	44	68	-0.68	6.0	1.0	丽江
1996-11-19	35.43	78.35	7.1	273	81	19	0.41	5.1	2.0	喀喇昆仑山口
1997-11-08	35.22	87.32	7.5	79	69	2	0.82	5.6	1.9	玛尼
2001-11-14	36.20	90.90	8.1	94	61	-12	0.88	5.7	2.4	昆仑山口西
2008-03-21	35.49	81.47	7.1	203	52	-74	-0.65	5.2	1.9	于田
2008-05-12	31.00	103.40	8.0	225	39	120	0.6	6.4	1.6	汶川
2010-04-14	33.10	96.70	7.1	300	88	23	0.32	6.3	0.8	玉树
2013-04-20	30.31	102.89	7.0	212	42	100	0.72	5.4	1.6	芦山
2014-02-12	36.14	82.51	7.3	332	85	-176	-0.5	5.7	1.6	于田
2017-08-08	33.19	103.86	7.0	153	84	-33	0.08	4.8	2.2	九寨沟

地区 28 次 $M_S \geqslant 7.0$ 地震的 $\boldsymbol{F}_n$ 与 $\boldsymbol{F}_0$ 的比值，同时还给出了发震断层面参数、最大余震震级 M_a、主震震级 M_m 与最大余震震级之差 ΔM。

$\Delta M \geqslant 0.8$ 的地震共 22 次。其中，$\boldsymbol{F}_n < 0$ 的地震有 8 次，占 36.36%，$\boldsymbol{F}_n > 0$ 的地震有 14 次，占 63.64%。因此，多数这种类型的地震发生时，其受到的科氏力在断层面外法线方向的投影与外法线方向相同，使断层面上的摩擦力减小。

$\Delta M < 0.8$ 的地震共 6 次。$\boldsymbol{F}_n < 0$ 的地震有 5 次，占 83.33%，$\boldsymbol{F}_n > 0$ 的地震有 1 次，占 16.67%。因此，多数这种类型的地震发生时，其受到的科氏力在断层面外法线方向的投影与外法线方向相反，使断层面上的摩擦力增加。

28 次地震中，有 15 次地震的 $\boldsymbol{F}_n > 0$，13 次地震的 $\boldsymbol{F}_n < 0$，即 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 和 $\boldsymbol{F}_n < 0$ 的地震几乎各占一半。15 次 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 的地震中，有 14 次地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$，占 93.3%。而 13 次 $\boldsymbol{F}_n < 0$ 的地震中，只有 5 次地震的主－余震震级差 $\Delta M < 0.8$，占 38.46%。根据符号检验法可知，当 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 时，发生地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$ 具有显著性，在 $\alpha = 0.01$ 显著性水平下通过显著性检验。

综上所述，$\boldsymbol{F}_n > 0$ 时，发生地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$ 的可能性大，而当主－余震震级差 $\Delta M < 0.8$ 的地震发生时，往往 $\boldsymbol{F}_n < 0$。由此可推断，$\boldsymbol{F}_n > 0$ 对地震的余震影响更明显。

3 结论

通过 1966—2017 年对中国大陆地区发生的 28 次 $M_S \geqslant 7.0$ 地震的余震与受到的科氏力之间的关系的分析，得到如下结论：28 次 $M_S \geqslant 7.0$ 地震中，地震时科氏力使断层面受到拉长作用（$\boldsymbol{F}_n > 0$）和压缩作用（$\boldsymbol{F}_n < 0$）的地震几乎各占 1 半。在 15 次 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 的地震中，有 14 次地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$，占 93.3%；而 13 次 $\boldsymbol{F}_n < 0$ 的地震中，只有 5 次地震的主－余震震级差 $\Delta M < 0.8$，占 38.46%。根据符号检验法可知，当 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 时，发生地震的主－余震震级差 $\Delta M \geqslant 0.8$ 具有显著性，在 $\alpha = 0.01$ 显著性水平下通过显著性检验。即，$\boldsymbol{F}_n > 0$ 对地震的余震影响更明显，因此，在实际地震趋势判定工作中，利用 $\boldsymbol{F}_n > 0$ 对地震的余震进行判定将更为可靠。

参考文献：

陈荣华，刘杰. 2005. 科里奥利力效应与昆仑山口西 8.1 级地震后两侧地震活动的可能关系[J]. 地震，25(3)：43－48.

郭安宁，陈家超. 1998a. 科里奥利力效应及对强余震预报方法的研究(一)[J]. 高原地震，10(2)：26－34.

郭安宁，陈家超. 1998b. 科里奥利力效应及对强余震预报方法的研究(二)[J]. 高原地震，10(3)：23－29.

郭安宁，陈家超. 1998c. 科里奥利力效应及对强余震预报方法的研究(三)[J]. 高原地震，10(4)：28－34.

郭安宁，郭增建，任栋，等. 2015. 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[J]. 地震工程学报，37(增刊 1)：86－90.

郭增建，郭安宁. 2009. 关于用科氏力预测最大余震问题的讨论[J]. 中国地震，25(4)：432－435.

郭增建，秦保燕，李革平. 1992. 未来灾害学[M]. 北京：地震出版社.

郭增建，吴瑾冰. 2001. 用 Corioli 力讨论台湾南投 7.6 级大震的余震强度[J]. 灾害学，16(1)：35－38.

郭增建. 2012a. 水平面上处理科氏力余震效应[J]. 山西地震，(1)：1－4

郭增建. 2012b. 水平面上处理科氏力余震效应(续一)[J]. 山西地震，(3)：1－3

郭增建. 2012c. 水平面上处理科氏力余震效应(续二)[J]. 山西地震，(4)：8－11.

郭增建，郭安宁，张炜超，等. 2012d. 科氏力余震效应在地震救援中的意义[J]. 国际地震动态，(12)：16－23.

李少梅. 2013. 科氏力在强余震预报中的应用[J]. 环境科技，42(1)：68－69.

吕坚，高建华，刘吉夫，等. 2003. 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，25(4)：432－440.

吕坚，张小涛，马广庆，等. 2006. 西部及邻区两次强震序列的震级特征及其力学解释[J]. 中国地震，22(4)：435－438.

盛书中，万永革，田力. 2009. 科里奥利力对断层作用的统计研究[J]. 中国地震，25(3)：256－264.

Influence of the Coriolis Force on Strong Aftershock of $M_S \geqslant 7.0$ Earthquakes Occurred in China Mainland

WU Anxu

(*Beijing Earthquake Agency*, *Beijing* 100080, *China*)

Abstract

The relationship between the occurrence of 28 $M_S \geqslant 7.0$ earthquakes in the China Mainland during the period from 1966 to 2017 and the Coriolis force caused on their fault planes was analyzed. The normal component $\boldsymbol{F}_n$ of the Coriolis force on the fault plane was only considered in the analysis. When $\boldsymbol{F}_n > 0$, it shows that the Coriolis force will make the fault plane relax, and reduce the friction on the fault plane, beneficial to the dislocation and energy release of the fault plane. In this situation the magnitude of aftershock could be weaker. Otherwise, the magnitude of aftershock could be stronger. The results are as follows: Among the 28 $M_S \geqslant 7.0$ earthquakes, there are 15 events for $\boldsymbol{F}_n > 0$ and 13 events for $\boldsymbol{F}_n < 0$. Further analysis shows that among the 15 earthquakes for $\boldsymbol{F}_n > 0$, there are 14 events for the magnitude difference between mainshock and aftershock $\Delta M \geqslant 0.8$ with a percent of 93.3%, and among 13 earthquakes for $\boldsymbol{F}_n < 0$, there are only 5 events for the magnitude difference between mainshock and aftershock $\Delta M < 0.8$ with a percent of 38.46%. According to sign test, for the earthquakes that occur when $\boldsymbol{F}_n > 0$, the possibility of $\Delta M \geqslant 0.8$ could be larger with a significant correlation ($\alpha = 0.01$). Therefore, it is more reliable in practice to predict the maximum magnitude of aftershock when $\boldsymbol{F}_n > 0$.

Keywords: China Mainland; the Coriolis force; strong aftershock