

白雪见,任栋,贾源源,等.汶川 8.0 级大震的余震最大强度用科里奥利力效应方法的判定[J].地震工程学报,2018,40(5):1073-1077.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1073
BAI Xuejian, REN Dong, JIA Yuanyuan, et al. Derterminatin of the Largest Aftershock of Wenchuan M_s 8.0 Earthquake in 2008 by the Coriolis Force Effect[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5):1073-1077. doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1073

汶川 8.0 级大震的余震最大强度用 科里奥利力效应方法的判定

白雪见,任 栋,贾源源,段博儒

(中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要:用科里奥利力效应预测强余震是一种震源物理的方法。回顾 2008 年汶川 8.0 级大震时用该方法判定余震最大强度的过程,半定性与综合判定为可能发生的最大余震强度为 6.5 级左右,实际发生了 6.4 级地震,与主震震级相差大于 1 级($M_{\pm} - M_{\text{余}} = 1.6$)。验证结果进一步说明该方法的科学性,给科里奥利力效应判定余震增加了一个可靠的判例。

关键词:科里奥利力效应;最大余震判定;汶川 8.0 地震

中图分类号: P315.75

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-1073-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1073

Derterminatin of the Largest Aftershock of Wenchuan M_s 8.0 Earthquake in 2008 by the Coriolis Force Effect

BAI Xuejian, REN Dong, JIA Yuanyuan, DUAN Boru

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Predicting strong aftershocks with Coriolis force is a method of seismic source physics and it was put forward by GUO Zengjian in 1992. This paper reviews the process of predicting the largest aftershock of 2008 Wenchuan M_s 8.0 earthquake by using this method. We concluded that the largest aftershock might be M_s 6.5 by qualitative and synthetical judgment. The actual situation is that the largest aftershock is M_s 6.4, and the magnitude difference between the main shock and the largest aftershock is bigger than 1. The verification results further illustrate the scientificity of the method and add an effective example for the Coriolis force effect.

Keywords: Coriolis force effect; decision of the largest aftershock; Wenchuan M_s 8.0 earthquake

0 引言

大震发生后,强余震的预测对救灾和灾区安定具有重要意义。关于强余震预测问题的研究,1992

年郭增建等^[1-2]提出了用科里奥利力效应预测最强余震的方法,并指出 1966 年邢台大震、1975 年海城大震和 1976 年唐山大震均符合科里奥利力效应。1998 年郭安宁等^[3-4]利用该方法对我国和邻区 1900

收稿日期:2017-08-20

基金项目:国家档案局科技项目(2017-X-43);“十三五”国家重点研发计划项目课题:基于现场实时信息的损失动态评估技术及应用示范(2017YFC1500906)

第一作者简介:白雪见(1990-),男,陕西延安人,硕士研究生,主要从事地震地质及震害预测研究。E-mail:xuejianbai@163.com。

年以来7级以上强震作了统计研究,验证其准确率为81.4%。2003年吕坚等^[5]利用科里奥利力效应分析了昆仑山口西8.1级地震余震活动趋势,并对中国大陆1900年以来7.5级以上强震作了统计研究,验证准确率为94.4%。

大震后强余震的统计结果表明,科里奥利力效应预测最强余震的方法对于强余震预测问题的研究具有较高的科学和实践指导价值。

大地震很罕见,使得我们研究地震的样本非常少,因而针对任一个大地震的剖析以及方法的验证都非常有价值。本文拟回顾科里奥利力效应对汶川8.0级大震的余震最大强度的判定,以期对用该方法判定余震强度可靠性提供案例支持。

1 科里奥利力效应判断最大余震强度的原理

科里奥利力是指在旋转的地球上的物体以一定速度运动时由于惯性所产生的力。科里奥利力的公式为:

$$F_c = 2m\omega v \sin\theta \quad (1)$$

式中: m 为物体的质量; ω 为地球自转的角速度; v 为物体的运动速度; θ 为物体所在位置的纬度角。

科里奥利力的方向可由以下两点进行判定^[1,5-6]:

(1) 物体的运动速度和地轴两个方向构成的平面与科里奥利力的方向相垂直;

(2) 用一螺旋柄垂直于物体运动速度 v 的方向和地轴方向所构成的平面,由物体运动速度 v 的方向向地轴方向旋转(必须按小角度旋转),此时螺旋柄的移动方向就是科里奥利力的方向(图1)。

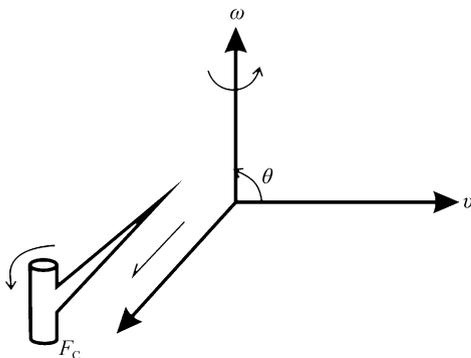


图1 科里奥利力 F_c 的方向

Fig.1 Direction of Coriolis force (F_c)

大震发生时,断层两盘快速错动的同时每个断层盘又相对于地球自转轴在运动,于是就会产生科里奥利力,其方向可由图1来判断,图1中的物体就是断层盘。

在北半球,科里奥利力的方向是在断层盘运动

方向的右侧。因此对于左旋走滑错动的断层来说,断层两盘的科里奥利力方向呈对张式[图2(a)],将减少断面摩擦力,有利于主震释放更多的能量。统计经验得出强余震震级与主震震级之差大于或等于1,即: $\Delta M = M - m \geq 1$,式中 M 为主震震级, m 为最大余震震级。对于右旋走滑错动的断层来说,断层两盘的科里奥利力方向呈对压式[图2(b)],将增大断面摩擦力,不利于主震能量的释放。统计经验得出强余震震级与主震震级之差小于或等于1,即 $\Delta M = M - m \leq 1$ ^[7-9]。

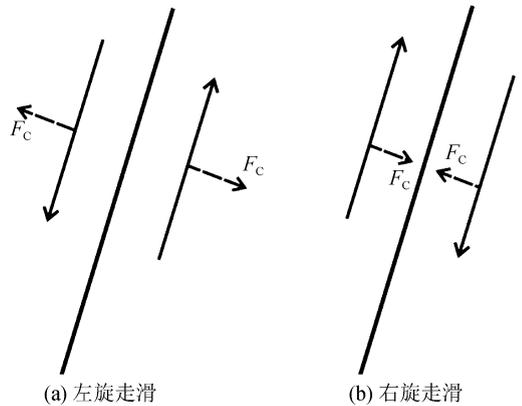


图2 走滑断层的科里奥利力方向(北半球)

Fig.2 Direction of Coriolis force in strike-slip fault (the Northern Hemisphere)

逆断层同理,如图3所示,错动方向在震源子午面以西时,断层两盘的科里奥利力呈挤压状态,将增大断面摩擦力,不利于主震能量的释放,故余震强度

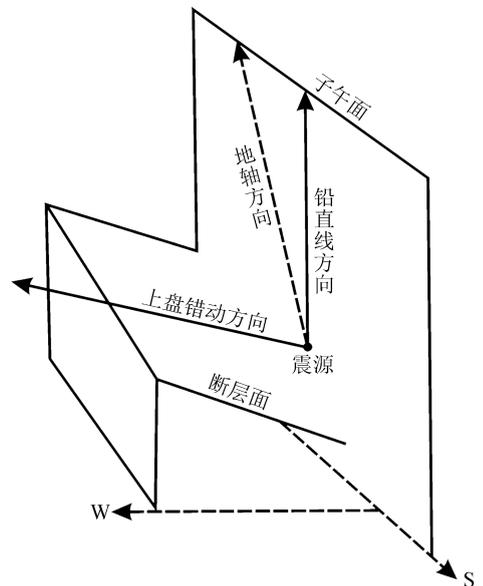


图3 逆断层上的科里奥利力效应

Fig.3 Coriolis force effect on reverse fault

较大;错动方向在震源子午面以东时,断层两盘的科里奥利力呈拉张状态,将减少断面摩擦力,有利于主震释放更多的能量,故余震强度较小^[1,5]。

2 科里奥利力效应对汶川 8.0 级大地震余震的判定与验证

汶川 8.0 级地震一直是学术界的研究热点^[10-13],在这里我们针对其余震进行专门讨论。

断层类型、走向和旋性是应用科里奥利力方法的核心因素,因此使用科里奥利力方法的前提是知道震源机制解^[14]。

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,汶川(31.0°N, 103.4°E)发生 8.0 级地震,震源深度 14 km。截至 2009 年 5 月 27 日共记录到余震 54 971 个,最大余震为 2008 年 5 月 25 日 16 时 21 分的 6.4 级地震(32.6°N, 105.3°E)^[15]。震源机制解(图 4)结果显示汶川大地震以逆冲为主,兼少量右旋走滑分量,断层向西北方向倾斜,走向 229°^[16]。

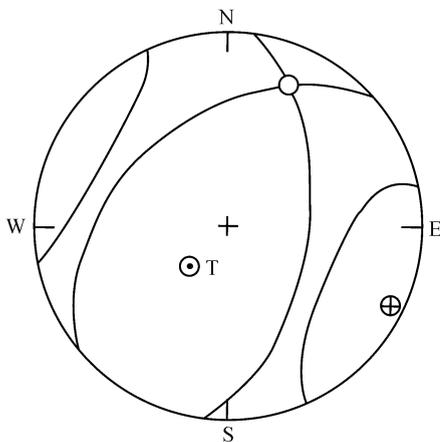


图 4 汶川 8.0 级地震主震震源机制解

Fig.4 Focal mechanism solution of the main shock of Wenchuan M_s 8.0 earthquake

针对 2008 年汶川 8.0 级大震,根据其震源机制解,应用科里奥利力效应分析(图 5),有利于主震释放更多的能量,最大余震震级不会太高。同时,注意到汶川 8.0 级大地震,其断裂带北段在破裂时作右旋错动,而南段作逆冲错动^[17-19]。在这种情况下,南北段受到科里奥利力对断层的作用是不同的,北段能量会释放得少,因此北段有较高的概率发生强余震。

汶川地震后,郭增建等用吴氏网法对汶川地震作了初步处理,所用的震源机制参数是陈运泰等所

得结果:断层走向为 229°;断层面倾角为 43°;滑动角为 123°,该角度是规定错动方向的。根据震源机制参数所得科里奥利力 F_c 的方向为:方位角为 230°,与铅直线之间的夹角为 40°;科里奥利力 F_c 在断层面法线上的分量为 $0.5F_c$,在断层面倾斜方向上的分量为 $0.6F_c$ ^[20]。

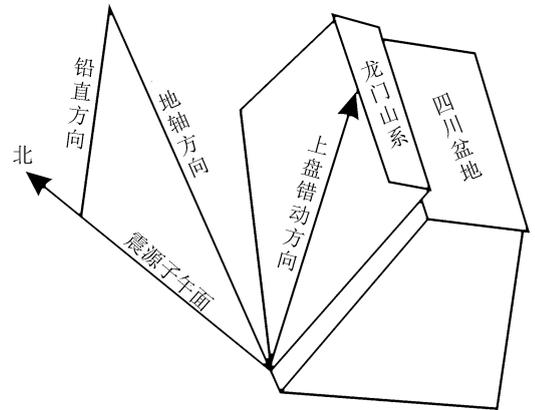


图 5 汶川 8.0 级地震的震源机制解和科里奥利力目视判断图^[20]

Fig.5 Simple model graph of focal mechanism solution and Coriolis force for Wenchuan M_s 8.0 earthquake^[20]

这个数据用科里奥利力方法分析会得出汶川大震存在有利于释放能量和不利于释放能量两个方面,所以郭增建等认为汶川大震的最大余震强度居于以上两者之间,取其平均值为 6.5 级^[20]。这与汶川大震实际的最大余震震级为 6.4 级相符合。

3 结论与讨论

(1) 通过回顾,讨论了科里奥利力效应方法对 2008 年汶川地震最大强余震的预测:当时判定汶川大地震最大余震震级为 6.5 级,实际情况是 6.4 级,基本符合,为该方法预测地震的效能增加了一个大地震案例支持。

(2) 2008 年汶川地震发生后对于余震的判别在应急期,要迅速得出结果,因而是定性加综合的判断,而科里奥利力效应可用数值模拟的方法直接分析该力在断面上的方向以及数值大小,这是今后需要进一步研究的方向,我们将在后续论文中详细介绍。

(3) 地震预报目前尚处于初级探索阶段,郭增建等^[21]1992 年提出的用科里奥利力效应预测最强余震的方法至今仍有科学价值。我们可在此基础上尝试进一步发展和完善该方法,并综合其他判定余

震强度的方法,提高余震的预测水平。

参考文献(References)

- [1] 郭增建,秦保燕,李革平.未来灾害学[M].北京:地震出版社,1992.
GUO Zengjian, QIN Baoyan, LI Geping. Future Catastrophology[M]. Beijing: Seismological Press, 1992.
- [2] 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.
GUO Zengjian, CHEN Jiachao. Discussion on Relationship between Corioli Force and Strong Aftershock[J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(2): 96.
- [3] 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(二)——预报方法的验证、准确性分析[J].高原地震,1998,10(3):23-29.
GUO Anning, CHEN Jiachao. Study on Corioli Force Effect for Strong Aftershock (II) — Verification and Analysis of Prediction[J]. Earthquake Research in Plateau, 1998, 10(3): 23-29.
- [4] 郭安宁,陈家超.中国大震问题[M].北京:地震出版社,2002.
GUO Anning, CHEN Jiachao. The Issues of Great Earthquakes in China[M]. Beijing: Seismological Press, 2002.
- [5] 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.
LÜ Jian, Gao Jianhua, LIU Jifu, et al. A Discussion on Corioli Force Effect and Aftershock Activity Tendency of the M8.1 Kunlun Mountain Earthquake of 14 NOV., 2001[J]. Acta Seismologica Sinica, 2003, 25(4): 432-440.
- [6] 郭增建,吴瑾冰.用 Corioli 力讨论台湾南投 7.6 级大震的余震强度[J].灾害学,2001,16(1):35-38.
GUO Zengjian, WU Jinbing. Discussion on the Aftershock of M7.6 Nantou Earthquake in the Taiwan Island[J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(1): 35-38.
- [7] 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(一)——预报方法的原理、思路[J].高原地震,1998,10(2):26-34.
GUO Anning, CHEN Jiachao. Study on Corioli Force Effect for Strong Aftershock(I) — Principle and Earthquake Prediction [J]. Earthquake Research in Plateau, 1998, 10(2): 26-34.
- [8] 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.
GUO Anning, CHEN Jiachao. Study on Corioli Force Effect for Strong Aftershock(III) — Steps of the Prediction Method and Significance in Intensity Zoning [J]. Earthquake Research in Plateau, 1998, 10(4): 28-34.
- [9] 郭增建,郭安宁,张炜超,等.科氏力余震效应在地震救援中的意义[J].国际地震动态,2012(12):16-23.
GUO Zengjian, GUO Anning, ZHANG Weichao, et al. Role of the Aftershock Effect of Corioli Force for Assisting Earthquake Disaster[J]. Recent Developments in World Seismology, 2012(12): 16-23.
- [10] 郭增建,郭安宁,李健梅,等.基于汶川地震震例用震兆共迁方法对地震预测的讨论[J].华南地震,2016,36(4):8-13.
GUO Zengjian, GUO Anning, LI Jianmei, et al. Discussion on Earthquake Prediction by Using the Method of Earthquake Precursor Co-migration Based on Wenchuan Earthquake [J]. South China Journal of Seismology, 2016, 36(4): 8-13.
- [11] 郭安宁,郭增建.从震源模式讨论 2008 年汶川 8 级地震的回顾性预测[J].地震地质,2010,32(1):115-126.
GUO Anning, GUO Zengjian. A Discussion on the Retrospective Prediction of the M_s8.0 Wenchuan Earthquake in 2008 by Means of Earthquake Source Models [J]. Seimology and Geology, 2010, 32(1): 115-126.
- [12] 郭安宁,郭增建,张津,等.发震构造呈复杂空间关系下相互影响发震的机理研究——以汶川地震为例[J].地震工程学报,2013,35(1):196-202.
GUO Anning, GUO Zengjian, ZHANG Jin, et al. Research on the Effect of Seismogenic Structure with Complex Spatial Relationship on Earthquake Mechanism with the Wenchuan Earthquake as an Example [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1): 196-202.
- [13] 张希,江在森.南北地震带中段地壳水平运动负位错反演与汶川等地震背景[J].地震工程学报,2010,32(2):105-111,138.
ZHANG Xi, JIANG Zaisen. Inversion of Negative Dislocation for Crustal Horizontal Movement in Middle-southern Segment of the China South-North Seismic Belt [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2010, 32(2): 105-111, 138.
- [14] 郭增建,郭安宁.基于震源机制的地震区划与地震预测方法讨论[J].地震研究,2017,40(4):509-513.
GUO Zengjian, GUO Anning. Seismic Zonation based on Focal Mechanisms and Discussion on Earthquake Prediction Methods [J]. Journal of Seismological Research, 2017, 40(4): 509-513.
- [15] 中国地震信息网. <http://www.csi.ac.cn>.
Chines Seismic Information. <http://www.csi.ac.cn>.
- [16] 陈运泰,许力生,张勇,等.2008年5月12日汶川特大地震震源特性分析报告[R].2008. <http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf>.
CHEN Yuntai, XU Lisheng, ZHANG Yong, et al. Report on the Great Wenchuan Earthquake Source of May 12, 2008 [R]. 2008. <http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyun-tai.pdf>.
- [17] 乔宝成,李勇,董顺利,等.汶川 M_s8.0 地震中央断裂北段地表破裂特征[J].地震工程学报,2009,31(4):333-338,348.
QIAO Baocheng, LI Yong, DONG Shunli, et al. The Surface Rupture of the M_s8.0 Wenchuan Earthquake on the Northern Segment of Central Fault [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2009, 31(4): 333-338, 348.

- [18] 马博琳,李勇,董顺利,等.汶川地震震中映秀地区地表破裂特征[J].地震工程学报,2009,31(4):339-343.
MA Bolin,LI Yong,DONG Shunli,et al.Characteristics of the Surface Rupture of the $M_s8.0$ Wenchuan Earthquake on the Epicenter, Yingxiu Area [J]. China Earthquake Engineering Journal,2009,31(4):339-343.
- [19] 连尉平,卢大伟,唐方头,等.汶川 $M_s8.0$ 地震逆冲滑动沿断层深度的分布特征及其数值模拟解释[J].地震工程学报,2014,36(1):88-92.
LIAN Weiping,LU Dawei,TANG Fangtou,et al.Distribution Characteristics of the Thrust Slip along Fault Depth in the Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake and the Interpretation Based on Numerical Simulation [J]. China Earthquake Engineering Journal,2014,36(1):88-92.
- [20] 郭安宁,郭增建.汶川地震与大地震预测探索[M].西安:西安地图出版社,2018.
GUO Anning,GUO Zengjian.Wenchuan Earthquake and Exploration of Great Earthquake Prediction [M]. Xi'an: Xi'an Map Publishing House,2018.
- [21] 《地震工程学报》编辑部.深切缅怀郭增建先生[J].地震工程学报,2018,40(1):188-190.
Editorial Office of China Earthquake Engineering Journal. Deeply Cherish the Memory of Guo Zengjian[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(1):188-190.

第二届全国交通岩土工程学术会议简讯

随着高速铁路、城市轨道交通、高速公路、城市道路以及机场等国家重大交通基础设施的大规模建设和运营,我国在交通岩土工程科学研究和工程技术方面取得了一大批突出成果,为确保国家重大交通基础设施安全建设和运营做出了卓越贡献。

“第二届全国交通岩土工程学术会议——现代交通基础设施中的岩土工程问题”于 2018 年 10 月 11—13 日在北京召开,本次会议由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会主办,北京交通大学、苏交科集团股份有限公司承办,清华大学、中国铁道科学研究院、中南大学、西南交通大学等 19 家单位协办。会议旨在深入探讨交通岩土工程中的关键科学问题及工程技术难题,促进设计、施工、科研和教学等各领域的交通岩土工程从业人员之间的交流、合作与创新,共同推进交通岩土工程领域的新理论、新方法和新技术的发展。

本次会议汇聚了一大批我国交通岩土领域的顶尖科学家、青年学者、研究生以及企业代表,其中包括中国工程院王复明院士、陈湘生院士,知名专家 60 余人,青年学者 120 余人,研究生 100 余人,承办方专家和學生 80 余人,总计参会人数超过 360 人。

本次会议共征集到 212 份论文摘要,165 篇论文全文。组委会组织专家对全部论文进行了评审,每篇论文均给出两份以上的审稿意见。经作者修改后,投稿论文全部推荐至本领域相关学术期刊正刊,包括:《岩土力学》、《中国铁道科学》、《地震工程学报》、《北京交通大学学报》、《都市快轨交通》、《铁道标准设计》、《地质力学学报》、《水利水电技术》、《铁道勘察》、《青海交通科技》。截止会议举办期间,其中已录用论文 68 篇,审稿中论文 46 篇。

本次会议共设置报告 111 个,其中院士报告 2 个,大会主题报告 12 个,分会场报告 97 个(其中含学生报告 37 个)。与会代表就岩土体基本性质、隧道工程、桩基工程、边坡工程、路基工程、基础工程、城市轨道交通以及交通岩土数值分析方法、抗震及环境振动、非连续介质力学分析、岩土工程新技术、寒区交通岩土工程等主题开展学术报告和深入交流。

会议闭幕式举办了颁奖仪式,对专业委员会评选出的青年专家优秀论文 2 篇、优秀研究生论文 3 篇、青年专家优秀学术报告 5 人、优秀研究生学术报告 5 人给予了荣誉和物质奖励。

大会于 2018 年 10 月 13 日圆满闭幕。