

2004年印度尼西亚9级大地震前的潜热通量异常

陈梅花 邓志辉* 杨竹转 马晓静

(中国地震局地质研究所, 北京 100029. *联系人, E-mail: zhihui@ies.ac.cn)

摘要 研究了2004年12月26日印度尼西亚苏门答腊岛西海岸发生的9级大地震前后地球表面潜热通量的时空演化过程, 发现如下几个现象: (1) 在印尼9级大地震前, 在震中及其附近地区, 出现了显著的潜热通量异常; (2) 地震前最大的潜热通量异常出现于缅甸小板块中段俯冲带上, 这里正是地震破裂带的中部, 也是余震集中的区域; (3) 异常发展具有由弱到强、由零散到集中的过程, 异常开始出现在缅甸小板块张性东边界及其东侧海盆, 然后向压性西边界(即海沟俯冲带)和印度洋发展, 地震后潜热通量异常消失. 震源系统是一个耗散系统, 地震前应力增强使系统与外界的物质和能量交换加激, 提高了海面与大气之间水热交换的速率, 这可能是导致潜热通量异常的原因.

关键词 潜热通量 地震异常 印度尼西亚 海啸 卫星遥感

1 潜热通量及研究资料的介绍

地球表面除了向外空辐射能量外, 还和大气之间进行感热交换和潜热交换, 前者是空气湍流等原因引起的热量交换, 后者是物质发生相变导致的热量交换. 地球表面潜热通量(Surface Latent Heat Flux, 缩写为SLHF, 下文简称为潜热通量)反映了地球表面和大气之间的水热交换, 它主要是由于水的相变(凝结、蒸发、融化)所吸收或释放的热量, 受大气相对湿度、风速以及表面温度等因素的影响. 海面与陆面的大气湿度、风速和表面温度等都有较大的差异, 所以, 海面与陆面的潜热通量也往往有较大的差异, 从沿海到内陆潜热通量迅速变化, 在海岸线两侧二者形成鲜明的对比^[1]. 在沿海地区, 地震前应力增强使系统与外界的物质和能量交换加激, 这会提高海面与大气之间水热交换的速率, 从而导致潜热通量明显上升, Dey和Singh等^[2]利用NCEP再分析资料研究强震前后的潜热通量变化, 注意到沿海地区强地震前普遍存在潜热通量异常, 而内陆地区的地震前则没有类似的异常现象.

潜热通量可以利用卫星遥感观测数据进行反演计算^[2,3]. 本文使用的潜热通量资料是由美国气象环境预报中心和美国国家大气研究中心提供的日值数据, 数据精度达到 $10\sim 30\text{ W/m}^2$ ^[4], 他们采用了当今最先进的全球资料同化系统和完善的数据库, 对各种来源(地面、船舶、无线电探空、测风气球、飞机、卫星等)的观测资料进行质量控制和同化处理, 获得了一套完整的再分析资料集, 该资料集不仅包含的要素多, 范围广, 而且延伸的时段长, 是一个综合的观

测资料集.

2004年12月26日印度尼西亚北苏门答腊岛发生的9级大地震, 震中位于北纬 3.307° , 东经 95.947° , 震源深度30 km, 地处印度板块与欧亚板块聚合的俯冲带上, 缅甸小板块被挟持其间(图1). 此次地震是印度板块向欧亚板块(包括缅甸小板块)俯冲积累的应力释放引起的, 地震的破裂带从震中沿岛弧俯冲带向北延伸, 长1200 km, 宽200 km^[5], 破裂面积约达25万 km^2 ^[6]. 余震主要沿破裂带分布, 最大余震为7.3级. 由于这一地震强度大, 破裂带长, 影响范围广, 同时考虑到破裂带和余震的分布, 本文将对震中周围东经 $70^\circ\sim 105^\circ$, 南纬 $5^\circ\sim$ 北纬 22° 近6百万 km^2 范围内的潜热通量进行分析研究.

2 潜热通量增量的空间分布

通过对地震前后潜热通量的时空变化过程分析, 发现在地震前20天里, 震中附近潜热通量发生了显著的异常变化. 为了方便分析对比, 作者把异常前20天、地震前20天和地震后20天分为3个时段进行分析研究, 3个时段对应的具体日期是: 11月15日~12月5日为第一时段; 12月6日~12月25日为第二时段; 12月27日~2005年1月15日为第三时段. 分别求出研究区内各时段的潜热通量平均值, 得到每个时段潜热通量的均值分布图. 潜热通量受到地域、季节、季风、潮汐等因素的影响, 相对于震前异常信息而言, 这些因素对潜热通量的影响是一个背景噪声. 在研究过程中为了尽量降低背景噪声的干扰, 作者根据1980~2003年共24年的资料, 分别计算出对应上述3个时段的潜热通量多年平均值分布图, 作为各个时

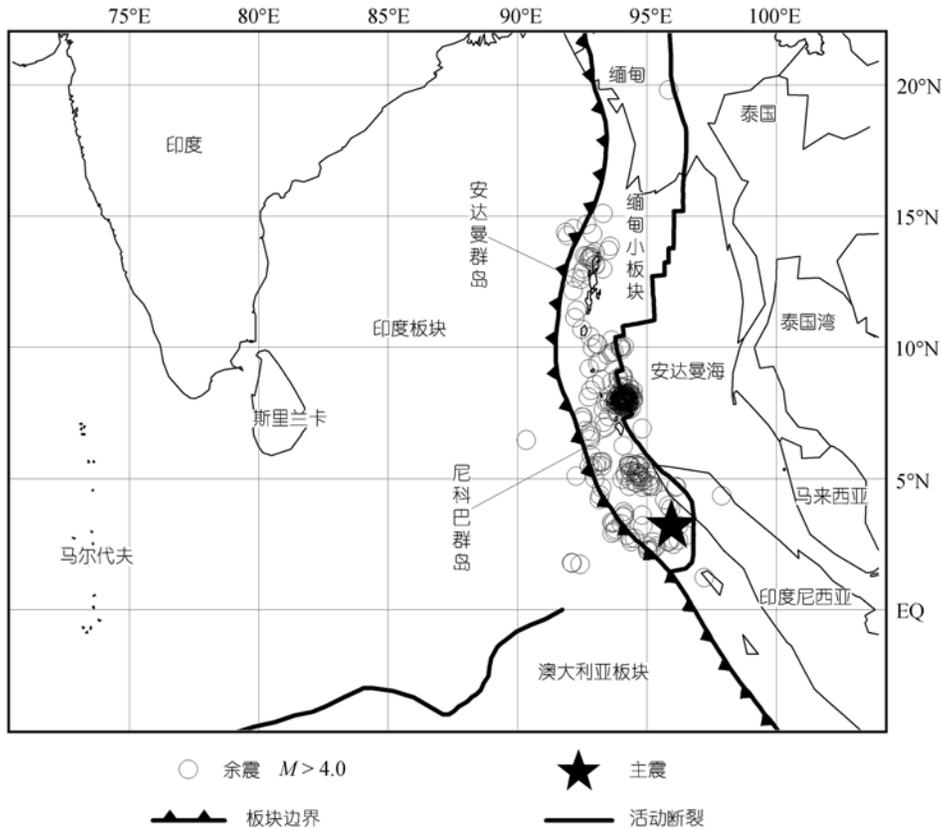


图 1 印度尼西亚 9 级地震的构造位置简图

段的潜热通量背景值,再用地震前后各个时段的潜热通量均值分布图与相应时段的背景值分布图相减,得到地震前后各时段潜热通量均值相对于背景值的潜热通量增量($\Delta SLHF$)分布图(图 2)。

图 2 是印度尼西亚 9 级大地震前后 3 个不同阶段的潜热通量增量分布图。第一个时段(图 2(a))为地震发生前 21~40 天,在这个时段潜热通量的增量分布比较随机,大部分地区的潜热通量增量都小于 30 W/m^2 ,没有出现特别高值的区域,最大的增量位于缅甸小板块的东边界上,为 54 W/m^2 ,而在印度半岛、泰国湾北部、震中区及其东南和西南部等区域出现了潜热通量负增量(图中白色区域)。

第二时段(图 2(b))为临震前的 20 天,在这个时段内研究区潜热通量的增量在第一时段的基础上向发震的俯冲带附近集中、加强,形成以缅甸小板块中段为中心向西南辐射的一个异常高值区,最大潜热通量增量达 97 W/m^2 ,远远高出数据的精度($10\sim 30 \text{ W/m}^2$),震中区也由第一时段的负增量变为正增量。而研究区北部包括印度半岛、孟加拉湾、缅甸、泰国

以及研究区的南部等大片区域却出现了潜热通量负增量。

第三阶段(图 2(c))为地震后 20 天,在这一阶段缅甸小板块中段的潜热通量增量异常区消失了,而印度板块和澳大利亚板块分界断裂附近,潜热通量增量由地震前的负值变为地震后的正值,增量幅度达到 $30\sim 60 \text{ W/m}^2$,成为这一阶段潜热通量增量最大的区域。

进一步研究还发现在第二时段的 12 月 7 日异常区的潜热通量突增至 400 W/m^2 以上,为 2004 年之最高值,12 月 7 日开始连续 10 天的潜热通量为 1980 年以来 25 年同期的最高值。

3 结论

上述潜热通量的分布和演化特征可以归纳成如下几点:() 2004 年 12 月 26 日印度尼西亚 9 级大地震前,震中附近地区产生了显著的潜热通量异常,连续 10 天为 25 年之最高值;() 地震前潜热通量异常出现具有由弱到强、由零散到集中、由缅甸小板块东

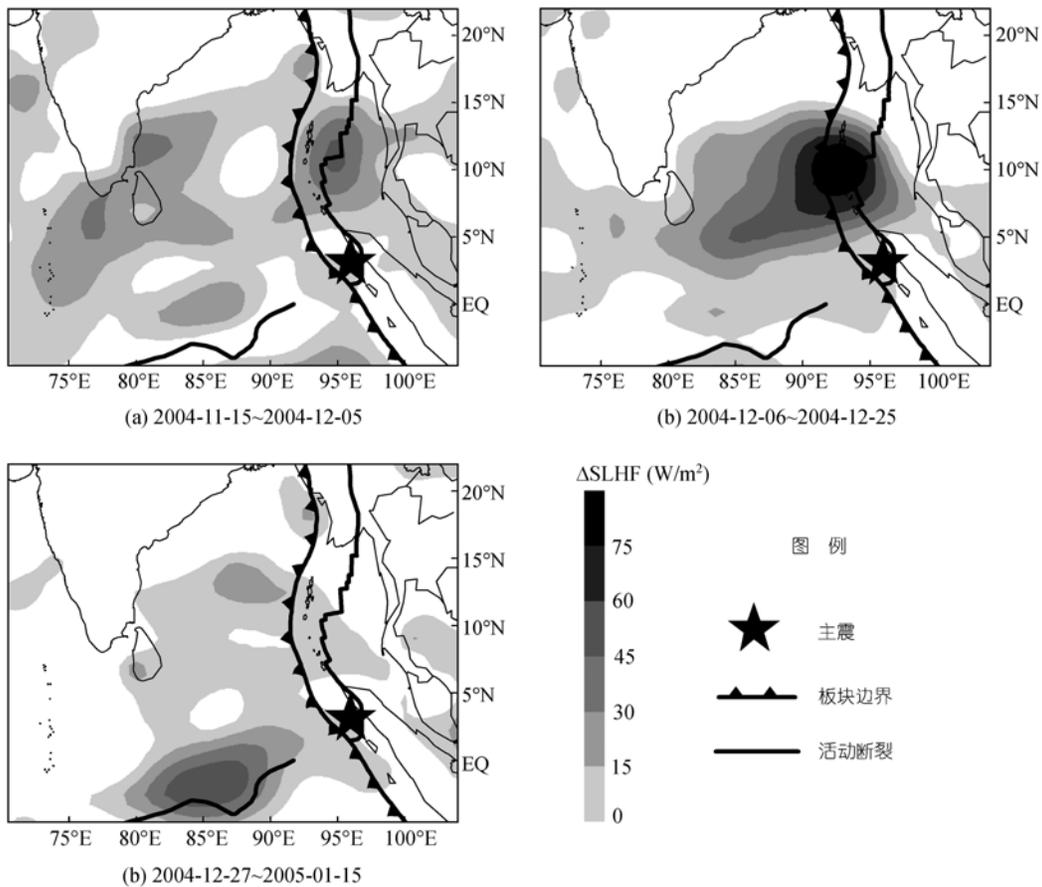


图2 潜热通量的增量(Δ SLHF)分布图(白色区域 Δ SLHF<0)

边界迁移到西边界俯冲带的演化过程; () 最大的震前潜热通量异常出现于缅甸小板块中段, 而这里正是地震破裂带的中部, 也是余震集中的区域(见图1)。在临震阶段震中区虽然不是异常最大的区域, 但相对于第一阶段和震后阶段, 其异常也是明显的。

前人的研究和本研究结果说明, 地震前不仅可以产生卫星热红外异常, 也可以出现潜热通量异常。

致谢 在本研究过程中, 张培震、赵国泽、车时、马胜利等研究员提出了宝贵意见, 美国气象环境预报中心和美国国家大气研究中心提供了潜热通量数据, 在此表示感谢。本研究受国家自然科学基金项目(批准号: 40372131)、科技部“十五”攻关项目(批准号: 2004BA601B01-02-02)和“863”项目(批准号: 2003AA134060)资助。

参 考 文 献

- 1 Dey S, Singh R P. Surface latent heat flux as an earthquake precursor. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2003, (3): 749~755
- 2 Schulz J, Meywerk J, Ewald S, et al. Evaluation of satellite-derived latent heat fluxes. *J Climate*, 1997, 10(11): 2782~ 2795[DOI]
- 3 Singh R, Simon B, Joshi P C. Estimation of surface latent heat fluxes from IRSP4/MSMR satellite data. *Proc Indian Acad Sci (Earth Planet Science)*, 2001, 110(3): 231~238
- 4 Smith S R, Legler D M, Verzone K V. Quantifying uncertainties in NCEP reanalysis. *Climate*, 2001, 14(20): 4062~4072[DOI]
- 5 Stein S, Okal E A. Speed and size of the Sumatra earthquake. *Nature*, 2005, 434: 581~582[DOI]
- 6 McCloskey J, Nalbant S S, Steacy S. Earthquake risk from co-seismic stress. *Nature*, 2005, 434: 291

(2005-09-28 收稿, 2005-11-30 接受)