白玉柱，徐杰，周本刚，2009. 2008 年汶川 8.0 级地震地表垂直和水平位移场模拟计算分析. **4**（3）：256—265.

2008 年汶川 8.0 级地震地表垂直和水平位移场模拟计算分析[1]

白玉柱　徐　杰　周本刚
（中国地震局地质研究所，北京　100029）

摘要　本文采用 Okada 及 Steketee 的断裂位错模型，从理论上计算了龙门山中央主断裂和前山断裂在汶川地震中逆冲和走滑错动形成的地表位移场，包括地表垂直和水平位移场的基本特征。并将计算结果与地震科考成果进行了比较，发现计算结果与现场地表变形考察结果在变化趋势上表现出一致性。同时通过计算揭示了断裂错动过程中离断裂一定范围内的地表位移场变化情况，计算结果表明断裂错动形成的地表垂直存在较大的空间不均匀性，且主要集中于断裂的端部即映秀、北川和青川附近，并且位移场在这些地方变化都较强烈。水平位移场主要集中于北川以北的地区，水平位移场的空间变化比较均匀。

关键词：位错模型　断裂　位移

引言

许多研究认为，2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震的动力学背景是印度板块向亚欧板块俯冲、碰撞挤压时受到了华北地块鄂尔多斯和华南地块四川盆地等高强度地块的阻挡形成了能量的集中，部分能量在龙门山断裂带上得到释放从而造成了此次地震。从目前的研究成果来看，多数学者认为汶川地震是兼有右旋走滑运动分量的逆断裂破裂事件（徐锡伟等，2008；陈桂华等，2008）。断裂错动在地表的直接表现就是形成了地表垂直和走滑位移场（以下简称水平位移场），位移场空间分布不仅是震源运动的间接表现，而且是造成地表建筑破损的直接原因，因此关于地震地表位移场的研究具有重要的理论和实际意义。尽管由于龙门山地区震后交通极端不便使得科学考察工作非常有限，但是有限的科考数据，尤其是地表破裂带的科学考察，为从理论上进行深入的地表位移场计算提供了重要的依据。

断裂的变形和错动通常可视为一个矩形位错源来研究，该研究在上世纪 60 年代就开始了。Steketee（1958）是首先将位错理论引入到地学中的。随后位错理论经历了几十年的发展过程。如 Steketee（1958）导出了 Poisson 体中垂直走滑点源位错引起的地表位移场表示公式；Chinnery（1961；1963）首先给出了一般半空间中垂直走滑断裂造成内部位移场的表达式；

1 **基金项目** 地震行业专项“走滑活断层定量数据评定潜在震源区参数研究（200808018）”资助
［**收稿日期**］2009-06-18
［**作者简介**］白玉柱，男，生于 1976 年。助理研究员。主要从事断层力学和地面运动模拟研究。
E-mail: yuzhubai2008@126.com

后来，Mansinha 和 Smylie（1967；1971）得到半空间中倾斜剪切断裂造成内部位移场的表达式；Converse（1973）将上述工作推广到半空间中的一般剪切断裂并给出相应的微分公式；Iwasaki（1979）导出了在具有任意弹性模量介质中倾斜断裂引起的地面应变场表示公式；与此同时，关于位错理论在地学上的应用，更多的工作集中于发展逼近真实地球物理的模型，如在模型中考虑地球曲率的影响；考虑包含地形的影响以及地层结构对模型的影响等。上世纪 80、90 年代 Okada（1985；1992）在对以往研究工作进行总结的基础上，综合了弹性半无限空间介质中所有的弹性位错理论和地表变形之间的关系以及位错模型与地壳内部变形场的关系，给出了半空间中倾斜剪切断裂、张性断裂和逆断裂错动所造成的地表面及内部位移场的完备解析表达式，并在理论上解决了 Mansinha 和 Smylie 等人的公式在数值计算中的奇异性和不稳定性。因为这些表达式能够解释震源区附近的变形场，所以这对于震源的研究有很大的帮助。本文采用 Okada 关于断裂位错造成地表位移场的解析表达式，研究汶川地震时龙门山中央主断裂和前山断裂逆冲及走滑错动形成的地表垂直和水平位移场，并揭示位移场在空间上的变化情况。

1　龙门山断裂带的地质特征

龙门山中央主断裂和前山断裂是整个龙门山断裂带的重要组成部分。所以在模拟之前应当对龙门山断裂带的地质特征进行简单的描述。

龙门山断裂带位于松潘-甘孜造山带和扬子地块的结合部，并且与岷山隆起共同构成了青藏高原东部边界的中北段，是中国中西部接合带的北东向宏观构造带。龙门山断裂带的广义范围为东北自陕西勉县，向西南经四川的广元、江油、安县、都江堰等地直达宝兴、泸定，全长约 500km，它总体呈北东-南西向分布，宽约 30—50km，面积 2000km^2。东南面以彭灌断裂与川西前陆盆地为界，西北面以茂汶-汶川断裂同松潘-甘孜印支褶皱系相邻。该断裂带为一个巨大的推覆构造带，由多条挤压逆冲断裂和多个推覆体组成（杨晓平等，2008）。以映秀-北川中央断裂为界，可分为前山带和后山带。由北西向南东依次为后山断裂、中央断裂、前山断裂和山前隐伏断裂。后山断裂位于龙门山的主脊线上（杨晓平等，2008），主要由青川断裂、汶川-茂县断裂和耿达-陇东断裂构成；中央主断裂由盐井-五龙断裂、映秀-北川断裂和北川-林庵寺断裂构成；前山断裂由大川-双石断裂、灌县-安县断裂和江油断裂构成；山前隐伏断裂由大邑断裂构成（杨晓平等，2008）。上述 4 条主干逆冲断裂及其控制的逆冲推覆体组成具有前展式特点的推覆构造（唐荣昌等，1993；陈国光等，2007）。

龙门山中央主断裂映秀-北川断裂，无论在前山带还是在后山带地史的差异发展中，或是在龙门山推覆构造发展中都起决定性作用，是龙门山地区中的关键断裂。映秀-北川断裂总体倾向西北，倾角较陡，均在 45°以上，断裂区域内变形的破裂面、破裂岩和节理等以脆性破裂为主（龙学明等，1994）。该断裂为汶川地震主要的发震断裂之一，且汶川地震的震中就位于中央主断裂中段的映秀-北川断裂上。前山断裂中段的灌县-安县断裂为龙门山逆冲断裂带与四川盆地的现今分界断裂，为一条呈北东向展布、倾向北西、倾角较陡的脆性逆冲断层，断裂地表表现出明显的浅层次脆性变形特征，断裂附近破碎化发育（李智武等，2008）。在此次汶川地震中，灌县-安县断裂也参与了滑动。因此关于汶川地震地表变形的研究应当从龙门山中央断裂和前山断裂的位错运动开始。

2　断裂位错模型

将位错理论首先引入地学中的是 Steketee。位错理论的主要内容是研究连续介质中不连续面

上位移场的分布与周围位移场之间的关系。目前只有几何形状比较简单的位错（如点源位错和矩形位错）可用解析表达式来表示（张永志等，2008）。对于龙门山中央主断裂映秀-北川断裂和前山灌县-安县断裂可以采用图 2 所示的矩形位错源来进行地震错动时的近似描述：图中表示倾角为 δ 的断裂下盘，以地面断裂走向为 X 轴，垂直地面且指向地表上侧的直线为 Z 轴，最终建立的直角坐标为图 2 所示。图中 U_1、U_2 和 U_3 分别为断裂上盘相对于下盘的走滑、逆冲和张开位移；L、W 和 C 分别表示断裂的走向长度、宽度和下底面的深度。则矩形断裂走滑运动引起的地表位移场在垂直方向和水平方向的分量可通过断裂面上的位移分量表示为（Okada，1985）：

$$\begin{cases} u^{I}_{水平} = -\dfrac{U_1}{2\pi}\left[\dfrac{\xi q}{R(R+\eta)} + \tan^{-1}\dfrac{\xi\eta}{qR} + I_1\sin\delta\right]\| \\ u^{I}_{垂直} = -\dfrac{U_1}{2\pi}\left[\dfrac{\tilde{d}q}{R(R+\eta)} + \dfrac{q\sin\delta}{R+\eta} + I_4\sin\delta\right]\| \end{cases} \tag{1}$$

矩形断裂逆冲运动引起的地表位移场在地表垂直方向和水平方向的分量可表示为：

$$\begin{cases} u^{II}_{水平} = -\dfrac{U_2}{2\pi}\left[\dfrac{q}{R} - I_3\sin\delta\cos\delta\right]\| \\ u^{II}_{垂直} = -\dfrac{U_2}{2\pi}\left[\dfrac{\tilde{d}q}{R(R+\eta)} + \sin\delta\tan^{1}\dfrac{\xi\eta}{qR} - I_5\sin\delta\cos\delta\right]\| \end{cases} \tag{2}$$

矩形断裂张开运动引起的地表位移场在垂直方向和水平方向的分量可表示为：

$$\begin{cases} u^{III}_{水平} = -\dfrac{U_3}{2\pi}\left[\dfrac{q^2}{R(R+\eta)} - I_3\sin^2\delta\right]\| \\ u^{III}_{垂直} = -\dfrac{U_3}{2\pi}\left[\dfrac{\tilde{y}q}{R(R+\xi)} + \cos\delta\left\{\dfrac{\xi q}{R(R+\eta)} - \tan^{-1}\dfrac{\xi\eta}{qR}\right\} - I_5\sin^2\delta\right]\| \end{cases} \tag{3}$$

公式（1）—（3）中，函数后面加的“||”为 Chinnery 所采用的符号，其含意是在整个断裂面上的积分结果通过矩形断裂角点的坐标来表示（张永志等，2008），如符号 $f(\xi,\eta)\|$ 的含义为：

$$f(\xi,\eta)\| = f(x,p) - f(x,p-W) - f(x-L,p) + f(x-L,p-W)$$

公式（1）—（3）中其它符号的含意如下：

$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{\mu}{\lambda+\mu}\left[\dfrac{-1}{\cos\delta}\dfrac{\xi}{R+\tilde{d}}\right] - \dfrac{\sin\delta}{\cos\delta}I_5 \\ I_3 = \dfrac{\mu}{\lambda+\mu}\left[\dfrac{1}{\cos\delta}\dfrac{\tilde{y}}{R+\tilde{d}} - \ln(R+\eta)\right] + \dfrac{\sin\delta}{\cos\delta}I_4 \\ I_4 = \dfrac{\mu}{\lambda+\mu}\dfrac{1}{\cos\delta}\left[\ln(R+\tilde{d}) - \sin\delta\ln(R+\eta)\right] \\ I_5 = \dfrac{\mu}{\lambda+\mu}\dfrac{2}{\cos\delta}\tan^{-1}\dfrac{\eta(X+q\cos\delta)+X(R+X)\sin\delta}{\xi(R+X)\cos\delta} \end{cases} \tag{4}$$

若 $\cos\delta = 0$，则公式（4）应变为：

$$\begin{cases} I_1 = -\dfrac{\mu}{2(\lambda+\mu)}\dfrac{\xi R}{(R+\tilde{d})^2}; \quad I_3 = \dfrac{\mu}{2(\lambda+\mu)}\left[\dfrac{\eta}{R+\tilde{d}} + \dfrac{\tilde{y}q}{(R+\tilde{d})^2} - \ln(R+\eta)\right] \\ I_4 = -\dfrac{\mu}{\lambda+\mu}\dfrac{q}{R+\tilde{d}}; \quad I_5 = -\dfrac{\mu}{\lambda+\mu}\dfrac{\xi\sin\delta}{R+\tilde{d}} \end{cases} \tag{5}$$

其中：

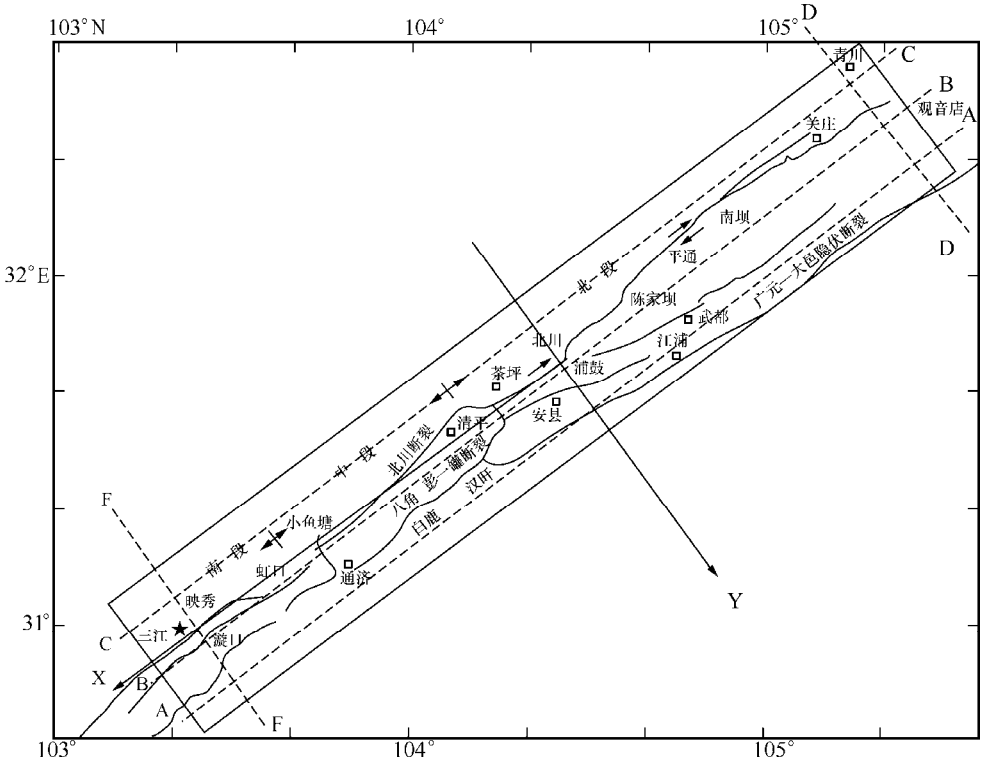
$$\begin{cases} p = y\cos\delta + d\sin\delta;\ q = y\sin\delta - d\cos\delta;\ \tilde{y} = \eta\cos\delta + q\sin\delta \\ \tilde{d} = \eta\sin\delta - q\cos\delta;\ R^2 = \xi^2 + \eta^2 + q^2 = \xi^2 + \tilde{y}^2 + \tilde{d}^2;\ X^2 = \xi^2 + q^2 \end{cases}$$

式中，λ 和 μ 为拉梅常数；x 和 y 为地表变形点在 XYZ 坐标系中的坐标；ξ 和 η 为断裂面上质点在 XYZ 坐标系中的坐标；d 为断裂下底面深度如图 1 所示，取 $d = C$。断裂三维运动在 XYZ 坐标系中的地表垂直与水平方向的位移场可表示为：

$$u_{水平} = u^{I}_{水平} + u^{II}_{水平} + u^{III}_{水平},\quad u_{垂直} = u^{I}_{垂直} + u^{II}_{垂直} + u^{III}_{垂直} \tag{6}$$

3　计算模型及相关假设

汶川地震发生之后，许多科考结果指出此次地震是龙门山断裂带内部的 2 条断裂：映秀-北川断裂和灌县-安县断裂发生了同震破裂，而断裂带内的其它断裂，如山前的广元-大邑隐伏断裂和后山的汶川-茂汶断裂，并没有参与破裂。关于汶川地震地表破裂的大量研究表明，映秀-北川和灌县-安县地表破裂带整体表现为北东向单一连续线状分布，地表破裂在走向上比较稳定，沿北东 50°—60°呈直线分布，但在 3 个部位出现较明显的转折或分叉，较为显著的就是小鱼洞镇、高川乡和擂鼓镇附近。这些断裂走向的转折区或几何形态复杂部位将映秀-北川断裂破碎带分为了 3 段（刘静等，2008）。由于地表破裂形态的科考结果表明，在距离震中 40km 之内映秀-北川断裂主要表现为逆冲位错，而走滑位错分量较少，所以在计算中可以将小鱼洞这个分界点不单独进行考虑。同时，由于映秀-北川断裂在北川附近的擂鼓镇从北东 50°的走向向近南北走向转变，所以可将映秀-北川断裂分成两部分来计算：一部分为南段的映秀至北川；另一部分为北川至青川。整个计算区域及坐标关系如图 1 所示。



A—F 表示模拟计算进行方向；E—E 方向与 Y 轴重合

图 1　计算区域

Fig.1　Set up of calculation region

采用的计算模型如图 2 所示。其中，南段：映秀至北川断裂走向长度定为 140km，倾向宽度定为 16km，倾角设为 60°；北段：北川至青川断裂走向为 190km，倾向为 16km，倾角 60°，震源深度定为 14km（据中国地震信息网，2008）；灌县-安县断裂走向定为 140km，倾向长度为 18km，倾角 50°。具体计算参数见表 1。计算区域选定为如图 2 所示的涵盖中央主断裂中段走向方向为 330km，垂直走向为 70km 的范围；图中 *XY* 轴所对应的平面为地表面。出于模型计算方面的考虑，这里对映秀-北川断裂部分采用逆冲位错模型；北川至青川的断裂部分采用逆冲兼右旋走滑位错模型；前山灌县-安县断裂部分采用逆冲位错模型。由于汶川地震起始于挤压逆冲型震源破裂（徐锡伟等，2008），所以这里采用 Okada 的断裂位错模型，计算当映秀-北川断裂部分平均逆冲位移为 6.4m（陈运泰等，2008；Ji 等，2008；Parsons 等，2008；王卫民等，2008），北川至青川断裂部分逆冲为 5m，右旋走滑为 4.6m 以及灌县-安县断裂部分逆冲为 3m 时，地表水平和垂直位移场。在模型计算中采用的一些假设为：

（1）把断裂面视为一个平面；

（2）不考虑地表起伏等状况对地表位移场的影响，将地表视为平面；

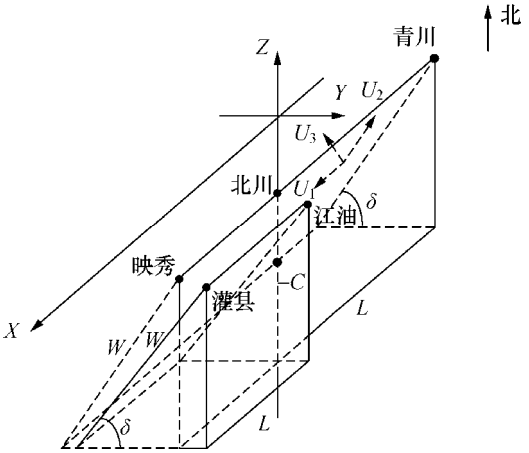
（3）断裂的错动视为沿断裂面均匀的错动。

表 1　模型计算所用参数

Table 1　Parameters used in computational model

断裂名称	断裂走向（L）	断裂倾向（W）	断裂倾角（δ）	平均逆冲位错（$U_{逆冲}$）	平均走滑位错（$U_{走滑}$）	拉梅常数（λ,μ）
映秀-北川	140km	16km	60°	6.4m		$\lambda=\mu$
北川-青川	190km	16km	60°	5.0m	4.6	
灌县-江油	140km	18km	50°	3.0m		

基于上述计算模型参数（表 1）、假设和公式（1）—（6），采用 FORTRAN 语言进行计算机编程，对龙门山中央主断裂和前山断裂中段错动形成的地表位移场进行计算。



L 为断裂走向长度；*W* 为断裂倾向长度；
δ 为断裂倾角；*C* 为断裂下底面深度

图 2　模型计算示意图

Fig.2　Sketch map of computational model

4　计算结果及讨论

具体计算分成两方面的内容：①垂直位移场；②水平位移场。两种位移场分别以图 1 中的 A—A 到 F—F 方向的变化来描述。

4.1　地表垂直位移

图 3 表示汶川地震断裂错动时计算区域内形成的地表垂直位移场，由图可知断裂错动造成的地表垂直位移场在空间上具有很大的不均匀性。图 3 中红色星号、绿色星号及白色星号分别表示北川、映秀和青川附近，而图 3 中的 2 条平行的红线表示中央断裂和山前断裂中段在地表的出露。由图 3 可知，垂直位移场的变化主要集中于处于断裂两端位置的映秀、北川和青川附近。

同时从图 3 可大致看出，地表垂直位移随走向（图 1 中 *X* 轴）和垂直走向（图 1 中 *Y* 轴）的变化，但是为了更能说明问题，本文还进一步给出了地表垂直位移随走向（图 4、图 5、图

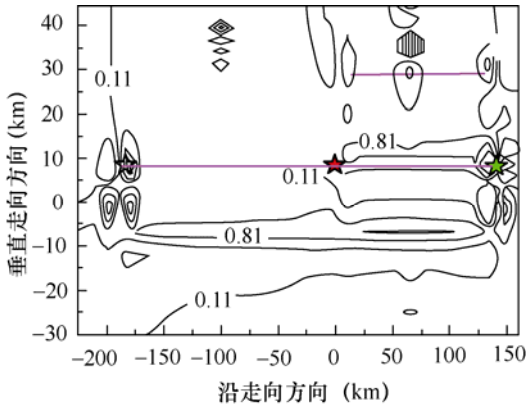


图 3　地表垂直变形位移等值线

Fig.3　Contour line of vertical displacement on the ground surface

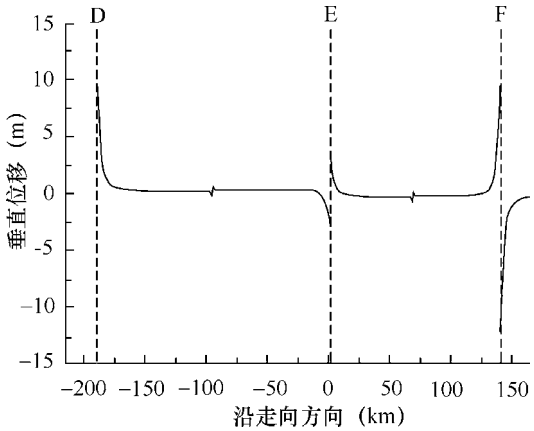


图 4　地表垂直位移沿 C—C 随走向的变化

Fig.4　Variation of vertical displacement along C—C line

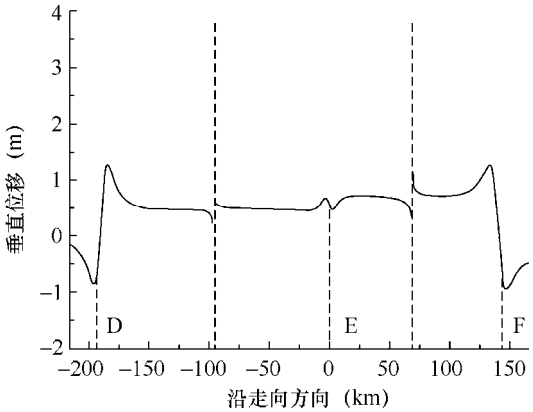


图 5　地表垂直位移沿 B—B 随走向的变化

Fig.5　Variation of vertical displacement along B—B line

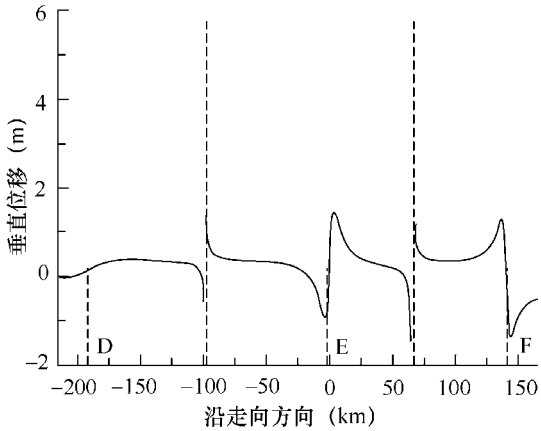


图 6　地表垂直位移沿 A—A 随走向的变化

Fig.6　Variation of vertical displacement along A—A line

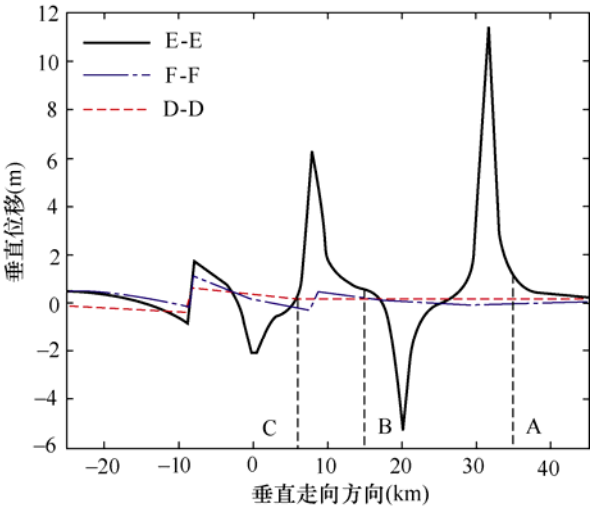


图 7　地表垂直位移在垂直走向上的变化

Fig.7　Variation of vertical displacement in direction perpendicular to the strike

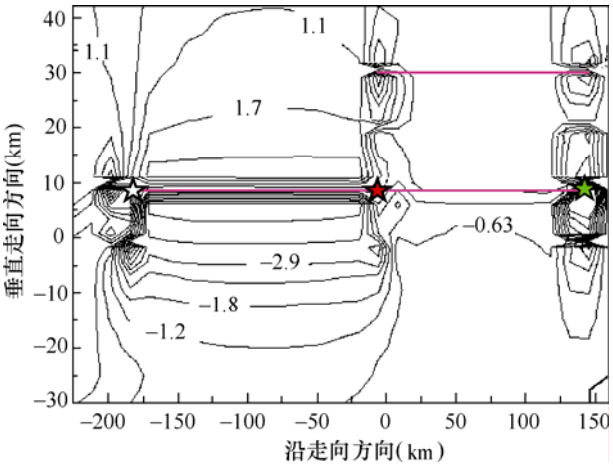


图 8　地表水平变形位移等值线

Fig.8　Contour line of horizontal displacement on the ground surface

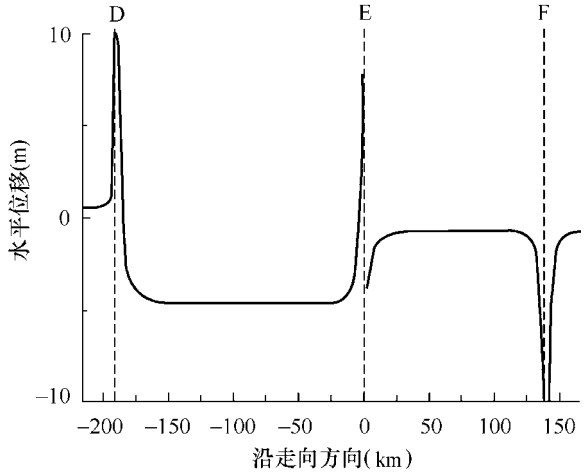


图 9 地表水平位移沿 C—C 随走向的变化

Fig.9 Variation of horizontal displacement along C—C line

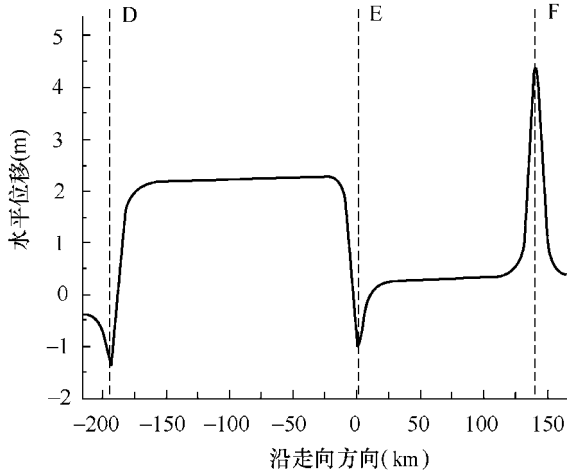


图 10 地表水平位移沿 B—B 随走向的变化

Fig.10 Variation of horizontal displacement along B—B line

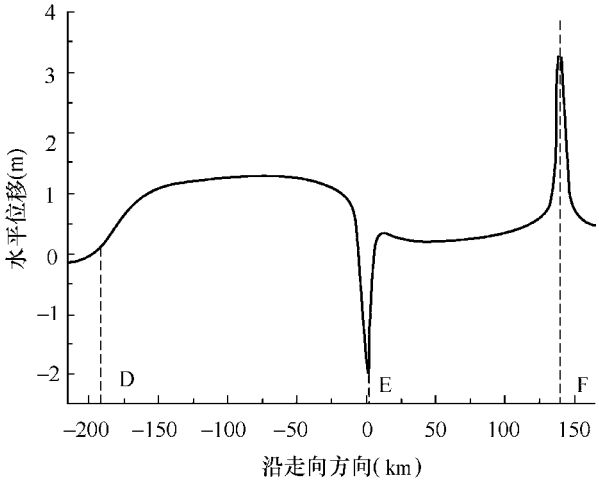


图 11 地表水平位移沿 A—A 随走向的变化

Fig.11 Variation of horizontal displacement along A—A line

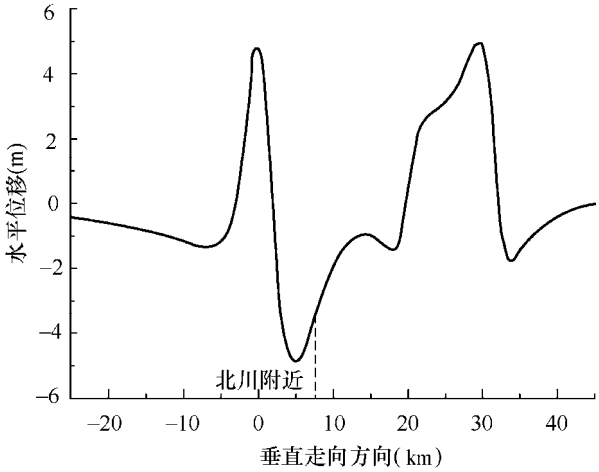


图 12 地表水平位移沿 E—E 随垂直走向的变化

Fig.12 Variation of horizontal displacement along E—E line

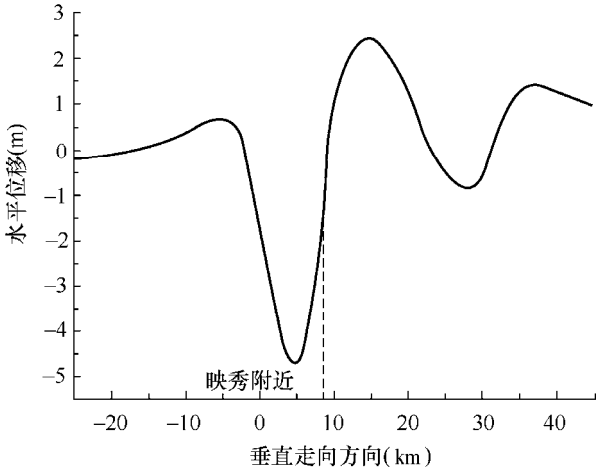


图 13 地表水平位移沿 F—F 随垂直走向的变化

Fig.13 Variation of horizontal displacement along F—F line

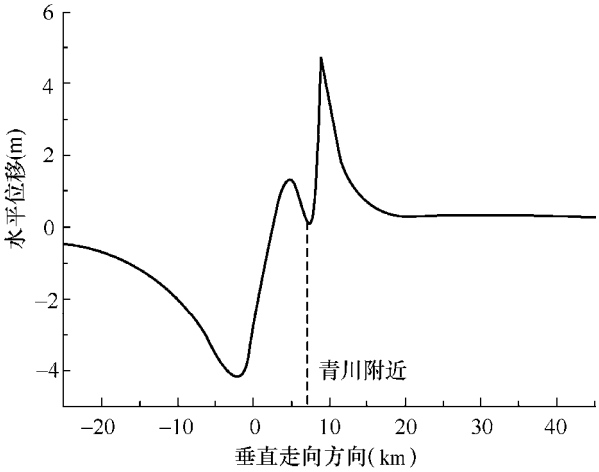


图 14 地表水平位移沿 D—D 随垂直走向的变化

Fig.14 Variation of horizontal displacement along D—D line

6）和垂直走向（图 7）的变化。图 4 揭示了地表垂直位移在映秀-北川断裂上盘沿 C—C 方向的变化。由图 4 可知，地表垂直位移确实在断裂端部的映秀、北川和青川附近变化剧烈（图中 D、E 和 F 分别表示青川、北川和映秀附近，下同）。地表垂直位移在断裂中部变化比较平缓且垂直位移近似为 2—3m，这与现场科考的情况大致相似（徐锡伟等，2008；周庆等，2008）。地表垂直位移在灌县-安县断裂上盘随 B—B 方向的变化如图 5 所示。由图 5 可知，垂直位移除了在某些地方出现不连续变化之外，整体保持连续变化，并且垂直位移的数值要比映秀-北川断裂上盘的要小。图 6 给出了地表垂直位移在灌县-安县断裂下盘随 A—A 方向的变化，与图 5 一样，垂直位移总体保持连续变化，且比相应上盘的垂直位移要小。

地表垂直位移随垂直走向方向上的变化如图 7 所示。在图 7 中用三种不同的曲线分别表示垂直位移沿 D—D、E—E 和 F—F 方向的变化，由图 7 可知，地表垂直位移除了在青川附近外，在映秀和北川附近变化趋势近似一致，只是在北川和映秀的 E—E 和 F—F 方向上变化较强烈。

4.2　地表水平位移

图 8 表示计算区域内断裂错动时形成的地表水平位移场，由图可知地表水平位移场的空间不均匀性不像地表垂直位移场那样强烈。图 8 中红线的含意同图 3。由图 8 可知，地表水平位移场的主要部分集中于北川至青川的断裂上，在北川至映秀之间的区域水平位移较小；同时从图 8 中还可以看到，水平位移在断裂的端部变化也比较强烈，这是由于在计算中将断裂逆冲运动造成的水平位移场也考虑进去造成的。

图 9、图 10 和图 11 给出了地表水平位移沿图 1 中 C—C、B—B 和 A—A 方向的变化，其中图 9 表示在映秀-北川断裂上盘水平位移随走向的变化，由此可知，除了在断裂的端部水平位移变化不连续外，整体连续变化，且上盘相对下盘向右错动。图 10 表示水平位移在灌县-安县断裂上盘随走向的变化，由图 10 可知，灌县-安县断裂上盘相对于映秀-北川断裂上盘向右运动，同时通过与图 9 相比，灌县-安县断裂上盘的错动幅度要小于映秀-北川断裂上盘的错动幅度。图 11 表示水平位移在灌县-安县断裂下盘随走向的变化，由图 11 可知，水平位移较大的部分集中于灌县以北至青川的地区，且错动幅度明显小于映秀-北川断裂的上盘。

图 12、图 13 和图 14 给出了图 1 中水平位移沿 E—E、F—F 和 D—D 的变化。图 12 和图 13 表明，水平位移场沿 E—E，F—F 方向的变化会在北川和映秀附近达到一个较大值。通过将图 12、图 13 与图 14 相比，可知水平位移在青川附近较小。

总之，通过计算得到的主要结论有：

（1）汶川地震造成地表垂直位移场的空间不均匀性要强于相应的水平位移场；

（2）汶川地震造成的地表位移场通常在断裂的端部变化较强烈；

（3）汶川地震造成的地表位移场在某些地方会表现为下沉，这一点可以从图 3 发现，尽管科考没有这方面的报道；

（4）汶川地震造成的地表位移场不仅体现在距离断裂出露处较近的区域，在距离断裂出露较远的地区也有位移场；

（5）由位错模型计算出的位移场在映秀、北川、青川、安县以及都江堰等地方出现不连续变化，如图 4、图 5、图 6、图 9、图 10 和图 11。这从模型及力学角度分析是合理的，但实际上由于地表等因素的影响，不会出现计算中揭示的情况。

5 结语

本文采用位错理论计算了 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震中，龙门山中央断裂和前山断裂错动时形成的地表垂直和水平位移场。计算的位移场结果展示了与现场科考结果在变化趋势上表现为近似一致性，说明了位错模型的正确性。同时，理论计算在不考虑地表地形起伏等因素影响下揭示了一些特点，如位移场的主要变化集中于断裂的边缘，即映秀、北川、青川、安县和都江堰附近；错动造成的地表位移场具有空间不均匀性，并且位移场的存在不仅限于断裂在地表出露处的附近区域。位错理论同时也为我们提供了研究断层错动形成位移场的方法。

参考文献

陈运泰，许力生，张勇等，2008. 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告. http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf.

陈桂华，徐锡伟，郑荣章等，2008. 2008 年汶川 M_S8.0 地震地表破裂变形定量分析——北川-映秀断裂地表破裂带. 地震地质，**30**（3）：723—738.

陈国光等，2007. 龙门山断裂带晚第四纪活动性分段的初步研究. 地震地质，**29**（3）：657—673.

李智武，刘学根等，2008. 龙门山冲断带分段－分带性构造格局及其差异变形特征. 成都理工大学学报（自然科学版），**35**（4）：440—454.

刘静，张智慧等，2008. 汶川 8 级大地震同震破裂的特殊性及构造意义. 地质学报，**82**（12）：1707—1722.

龙学明，罗志立，1994. 龙门山冲断带的分区及其演化. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化.成都：成都科技大学出版社.

唐荣昌，文德华，黄祖智等，1991. 松潘-龙门山地区主要活动断裂带第四纪活动特征. 中国地震，**7**（3）：64—71.

王卫民，姚振兴，2008. 再谈汶川 8.0 级地震震源破裂过程. http://www.csi.ac.cn/sichuan/sichuan050512_110.htm

徐锡伟，闻学泽等，2008. 汶川 M_S8.0 地震地表破裂带及其发震构造. 地震地质，**30**（3）：597—629.

杨晓平，冯希杰等，2008. 龙门山断裂带北段第四纪活动的地质地貌证据. 地震地质，**30**（3）：644—657.

张永志，罗凌燕，王卫东，2008. 位错理论在西安地面沉降模拟中的应用. 西北地震学报，**30**（1）：17—20.

周庆，徐锡伟等，2008. 汶川 8.0 级地震地表破裂带宽度调查. 地震地质，**30**（3）：778—787.

Chinnery M.A., 1961. The deformation of ground around surface faults. Bull. Seism. Soc. Am., **51**: 355—372.

Chinnery M.A., 1963. The stress changes that accompany strike-slip faulting. Bull. Seism. Soc. Am., **53**: 921—931.

Converse G., 1973. Equations for the displacements and displacement derivatives due to a rectangular dislocation in a three-dimensional elastic half-space, User’s Manual for DIS3D. U.S. Geological Survey, Menlo Park, 119—148.

Iwasaki T. and R. Sato, 1979. Strain field in a semi-infinite medium due to an inclined rectangular fault. J. Phys. Earth, **27**: 285—314.

Ji C.H., 2008. Preliminary result of the May 12, 2008 M_W 7.9 Eastern Sichuan. China Earthquake. http://earthquake. usgs. gov/eqcenter/eqin the news/2008/us 2008 ryan/finite_fault.php.

Mansinha L. and Smylie D.E., 1967. Effect of earthquakes on the Chandler wobble and the secular polar shift. J. Geophys. Res., **72**: 4731—4743.

Mansinha L. and Smylie D.E., 1971. The displacement fields of inclined faults. Bull. Seism. Soc. Am., **61**:

1433—1440.

Okada Y., 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bul1. Seis. Soc. Am., **75**: 1135—1154.

Okada Y., 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bull. Seism. Soc. Am., **82**: 1018—1040.

Parsons T., Chen J. and Kirby E., 2008. Stress changes from the 2008 Wenchuan earthquake and increased hazard in the Sichuan Basin. Nature, doi. 10.1038/nature 07177.

Steketee J.A., 1958. On Voherra's dislocation in a semi-infinite elastic medium. Can. J. Phys., **36**: 1 92—205.

Simulation of Vertical and Horizontal Displacement Fields of 2008 Wenchuan M_S8.0 Earthquake

Bai Yuzhu, Xu Jie and Zhou Bengang

(Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

Abstract　By using fault dislocation model proposed by Yoshimitsu Okada and Steketee, we calculate the vertical and horizontal displacements along Yingxiu-Beichuan reverse fault and Guanxian-Anxian reverse fault along which Wenchuan M_S8.0 earthquake occurred in 2008. Comparing with the results from field survey along the surface rupture zone, we find that our computational results are comparable to the reality in displacement variation trend. Furthermore, the computational results indicate that the surface displacement fields varies with the distance form the fault, and the vertical displacement fields show strong inhomogeneity, in which largen displacement focuses on the ends of fault. However, in contrast to the vertical displacement, the horizontal displacement shows relative uniformity in space.

Key words: Dislocation model; Fault; Displacement