

文章编号: 1009-3850(2010)01-0089-04

地表几何形态对冲断带构造特征影响的物理模拟实验研究

谢玉华¹, 赵 坤², 周建勋², 王 利³, 王雪芹⁴

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 3. 冀东油田, 河北 唐山 063200; 4. 中国石油 长庆油田公司, 陕西 西安 719000)

摘要: 设计了基底均匀的水平砂层单侧挤压砂箱模型, 包括水平砂层上无砂丘以及砂丘分别位于距左侧活动挡板 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm、30 cm 时的 7 组实验, 通过实验着重对水平砂层在受单侧挤压时不同位置砂丘对冲断带的影响问题进行研究。实验结果表明, 砂丘在不同位置时, 冲断带的形成规模、几何形状都发生相应变化: 砂丘距左侧活动挡板 10~25 cm 时, 冲起构造发育, 且冲断带的构造特征明显; 而砂丘距左侧活动挡板 5 cm、30 cm 时不发育冲起构造, 主要发育逆冲断层。

关键词: 冲断带; 冲起构造; 物理模拟; 砂箱实验

中图分类号: P542

文献标识码: A

构造变形是构造应力作用的结果, 人们通常习惯从应力分析的角度对构造变形进行解释。库仑剪破裂准则以及由此派生的安德生模式是断层形成机制解释的经典工具^[1]。但是, 越来越多的研究表明, 仅依靠库仑剪破裂准则及相关的模式很难对力学上属于大变形范畴的构造变形问题加以完善的解释。构造物理模拟实验方法是研究构造变形过程和形成机制的重要手段, 在挤压、伸展及走滑构造的研究方面均有着十分广泛的应用。随着构造物理模拟实验对地表几何条件的关注, 砂箱模拟实验结果形象地揭示了地表条件对挤压逆冲带平面构造特征的重要影响^[2]。大部分实验研究主要重视材料的力学性质^[3]或变形速率对挤压冲断带的影响^[4]。然而, 有关地表几何形态对冲断带形成特征影响的研究目前还相当有限。已有的研究主要从应力大小与方向、岩石力学性质和边界几何条件等方面加以考虑, 有关地貌的控制作用的问题研究较少。Marques 等 (2002) 利用砂箱研究不同地形条件对冲断带平面展布和发展规律的影响, 并基于实验对喜马拉雅

和安第斯山构造带的成因作出了合理的解释。魏春光等 (2004) 初步应用砂箱研究地面坡度条件对冲断带形成特征的影响。除此之外, 尚未见其它更多研究报道, 有关地貌形态对冲断带剖面和平面的几何特征的影响问题的研究还很薄弱。

魏春光等 (2004) 对不同坡度角冲断带的研究表明, 不同地表条件对冲断带存在影响, 但没有对水平地层时砂丘对冲断带的影响做进一步的研究。笔者设计了一组基底均匀挤压的水平砂层上砂丘位置不同的单侧挤压的砂箱模型 (砂子是模拟浅层地层变形的理想材料), 对砂丘位置不同时冲断带的发育情况进行了研究, 结果表明: 当砂丘位置不同时, 冲断带的规模和几何形状有变化。

1 实验装置与模型设计

实验采用与 McCay (1990) 的装置类似的砂箱装置, 其两侧为透明玻璃, 不同的是左端为可活动的挡板, 右端是固定挡板 (图 1)。砂箱的长、宽、高分别为 150 cm、20 cm、20 cm。左端活动挡板在马达的驱

收稿日期: 2009-02-30 改回日期: 2009-09-04

作者简介: 谢玉华 (1980—), 男, 博士, 主要从事矿产普查与勘探及层序地层学研究。E-mail: hapygirl@163.com

动下可作水平单向活动,对砂层施加挤压变形。实验基础材料采用松散石英砂(标志层采用黑色石英砂),力学性质符合库仑-摩尔破裂准则,内聚力接近零,其被公认是模拟地壳浅层次构造变形的理想材料(Buchanan等 1991; Davy和 Cobbold 1991)。石英砂经筛分,粒径为 $200 \sim 400 \mu\text{m}$,内摩擦角 $29 \sim 32^\circ$ 。实验过程定时照相记录。实验在中国石油大学(北京)构造物理实验室进行。

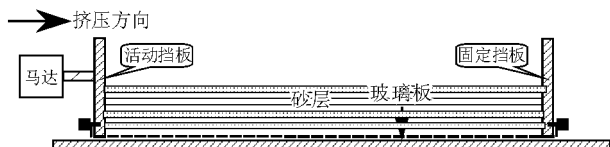


图 1 砂箱实验装置示意图

Fig 1 Schematic diagram of the level section model

两种实验模型分别为:①模拟地层水平单侧挤压模型;②模拟地层上设有砂丘,且砂丘位于不同位置时的单侧挤压模型。

模拟地层水平单侧挤压模型:模型底面放置光滑玻璃板,且玻璃板不发生滑动,然后在其上平铺砂层。模型初始长度为 50 cm ,底部铺有 4 层 1 cm 厚的砂层,每层顶面以黑薄砂层为界。首先,马达驱动左边挡板向右移动,使砂层发生挤压变形,以模拟水平地层单侧挤压作用。当伸展量达到 15 cm 时左边挡板停止挤压。模型挤压速率为 $4.75 \times 10^{-3}\text{ cm/s}$ 。

模拟地层上设有砂丘,且砂丘位于不同位置时(距离左侧分别是 5 cm 、 10 cm 、 15 cm 、 20 cm 、 25 cm 和 30 cm)的单侧挤压模型:装置情况基本同上述基底均匀挤压模型。

2 实验结果

2.1 模拟地层水平单侧挤压模型

在挤压过程中,当挤压量为 $d=2\text{ cm}$ 时,开始发育一对倾向相反的逆冲断层(图 2 a)。随着挤压量的增加,逆冲断层逐渐顺着挤压方向向前扩展。逆冲断层倾角越来越大,当倾角为 30° 左右时,倾角不再增大。断层面几乎近于平行(图 2 d)。

2.2 模拟砂丘位于不同位置时的单侧挤压模型

1. 砂丘距离活动挡板 5 厘米

当挤压量为 $d=2\text{ cm}$ 时,开始发育一对倾向相反的逆冲断层。(图 3 a)随着挤压量的增加,逆冲断层逐渐顺着挤压方向向前扩展。逆冲断层倾角越来越大,当倾角为 30° 左右时,倾角不再增大。断层面由平行逐渐转为平滑(图 3 d)。

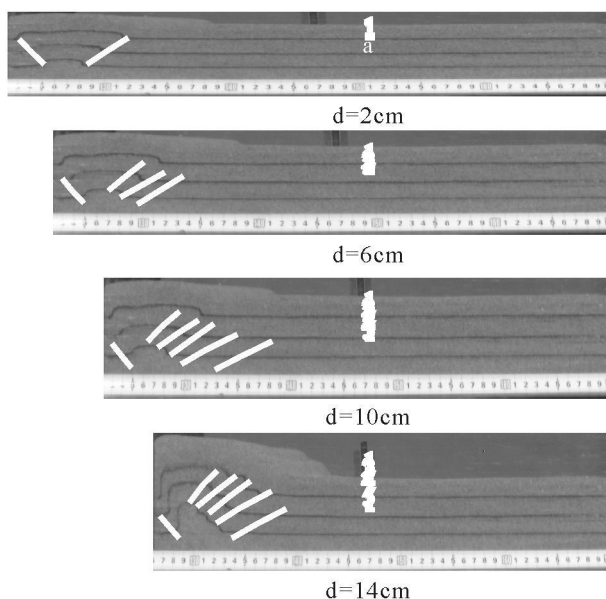


图 2 地层水平单侧挤压实验结果(挤压量分别是 2 cm 、 6 cm 、 10 cm 、 14 cm) (图中数字代表断层出现的顺序,挤压方向为向右挤压)

Fig 2 Experimental results of the level section model

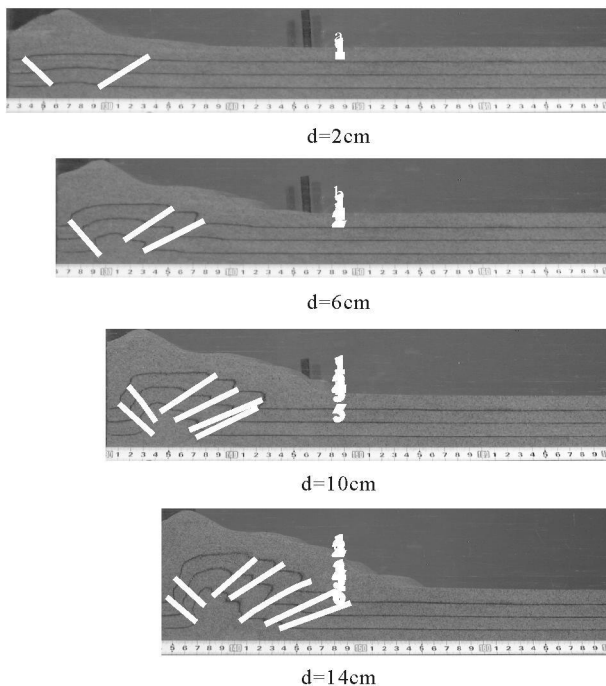


图 3 砂丘位于 5 厘米时的实验结果(挤压量分别是 2 cm 、 6 cm 、 10 cm 、 14 cm) (图中数字代表断层出现的顺序,挤压方向为向右挤压)

Fig 3 Experimental results of the level section model when the distance between the sand hillocks and left movable board is 5 cm

2 砂丘距离活动挡板 10 ~25 cm

当砂丘距离活动挡板 20 cm时, 在挤压过程中, 首先发育逆冲断层(图 4 a), 随着逆冲断层不断向前发展, 冲起构造开始发育, 且当砂丘位置由 10 cm到 25 cm的过渡中发现冲起构造, 即同时出现一对倾向相反的逆冲断层(图 4 d)。

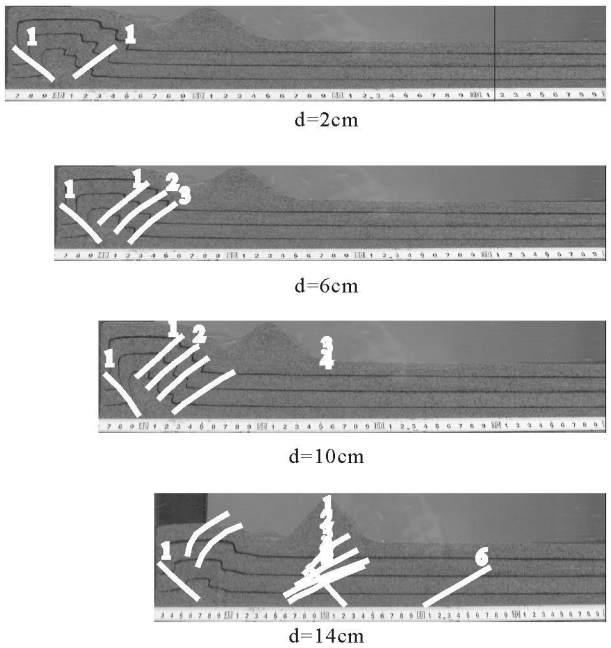


图 4 砂丘位于 20 cm时的实验结果 (挤压量分别是 2 6 10 14 cm)
(图中数字代表断层出现的顺序, 挤压方向为向右挤压)
Fig 4 Experimental results of the level section model when the distance between the sand hillocks and left movable board is 20 cm

3 砂丘距离活动挡板 30 cm

当挤压量为 $d=2$ cm时, 砂丘左侧开始发育一对倾向相反的断层。随着挤压量的增加, 砂丘左侧逆冲断层逐渐顺着挤压方向向前扩展, 并逐渐靠近砂丘。随着逆冲断层倾角越来越大, 断层面由平行逐渐转为平滑。砂丘右侧没有发育断层, 且没有发育冲起构造(图 5)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

在砂丘实验中, 模型底部采用玻璃作为变形传递介质, 通过单侧挤压, 直接模拟基底在水平方向的挤压变形, 从而在盖层中形成以逆冲断层发育为特征的构造组合。

上述模型的实验结果表明, 挤压过程中, 砂丘先

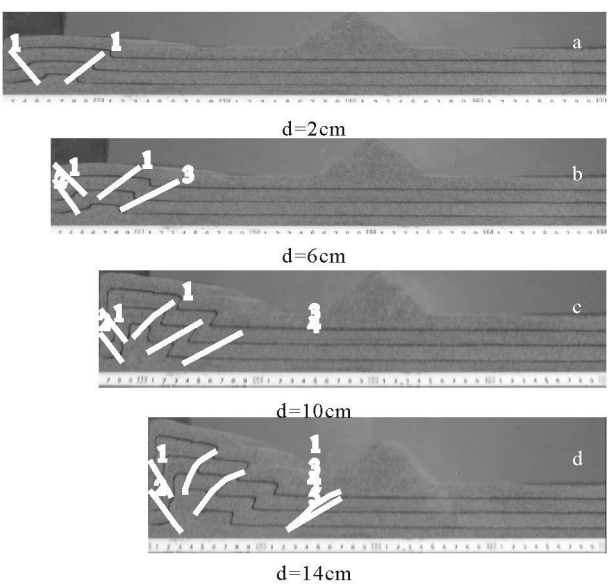


图 5 砂丘位于 30厘米时的实验结果 (挤压量分别是 2 6 10 14 cm)
(图中数字代表断层出现的顺序, 挤压方向为向右挤压)
Fig 5 Experimental results of the level section model when the distance between the sand hillocks and left movable board is 30 cm

产生一对倾向相反的逆冲断层, 然后随着挤压量的增加, 逆冲断层逐渐顺着挤压方向向前扩展。逆冲断层倾角越来越大, 当倾角为 30° 左右时, 倾角不再增大。砂丘在位于 10 cm 15 cm 20 cm和 25 cm这 4 个位置时发育冲起构造(图 6), 而在 5 cm 30 cm时却没有发育冲起构造(图 3 图 5)。可见当砂丘位置不同时, 对冲断带的影响也不同。这种结果是由地表的几何形态所决定的, 也与岩石的力学性质和基底摩擦在一定程度上也有关。由于单侧受力, 能量于受力一侧传到另一侧, 使在另一侧的砂丘发生强烈变形, 产生大量逆冲断层。当砂丘位于某些特殊位置时, 随着继续挤压, 能量传到砂丘顺挤压方向的前方某一特定位置, 并在此处发育冲起构造。由此可见, 当火山喷发时, 地面隆起距离火山活动适当位置时才有利于冲断带的形成, 易于发育冲起构造。

3.2 结论

通过物理实验模拟以及分析, 对于冲断带的形成有以下认识:

(1)砂丘的位置控制冲起构造的形成。砂丘距离在适当位置时(本实验为 10 ~25 cm)发育冲起构造, 即地面隆起与地质作用力源的距离对冲断带的形成有重要作用, 只有地面隆起距离地质作用力源适当位置时才发育冲断带。

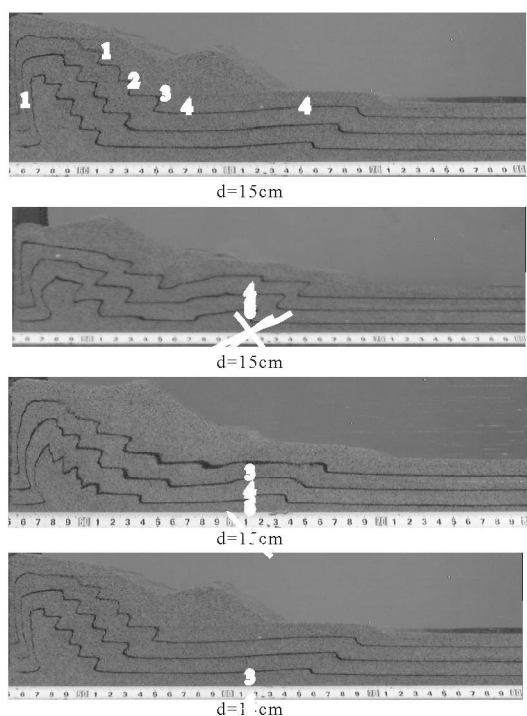


图6 水平砂层上砂丘分别位于 10 cm (a)、15 cm (b)、20 cm (c)、25 cm (d) 时实验结果对比 (挤压量均为 $d=15$ cm)

(图中数字代表断层出现的顺序, 挤压方向为向右挤压)

Fig. 6 Comparison of the experimental results of the level section model when the distances between the sand hillocks and left movable board vary at 10 cm (a), 15 cm (b), 20 cm (c) and 25 cm (d)

(2) 隆起的位置不同对冲断带的发育影响不同, 随着地面隆起与地质作用力源之间距离增大, 冲断带的规模经历由小到大, 再由大到小的过程。

致谢: 研究工作是在周建勋教授指导下完成, 实验工作得到了宁飞同学的大力帮助, 作者表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 魏春光, 周建勋, 何雨丹. 岩石强度对冲断层形成特征影响的砂箱实验研究[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 560—564
- [2] 徐开礼, 朱志澄. 构造地质学, [M]. 北京: 北京地质出版社 1983, 145—148
- [3] LOHRMANN J, KUKOWSKI N, ADAM J, ONCKEN Q. The impact of anisotropic material properties on the geometry kinematics and dynamics of convergent sand wedges [J]. Journal of Structural Geology, 2003, 25(4): 1691—1711
- [4] ROSETTI F, FACCENNA C, RANALLI G. The influence of backstop dip and convergence velocity in the growth of viscous doubly-vergent orogenic wedges: insights from thermomechanical laboratory experiments [J]. Journal of Structural Geology, 2002, 24(3): 953—962

Physical modeling of the effects of surface configurations on structural features of thrust zones

XIE Yu-hua¹, ZHAO Kun², ZHOU Jian-xun³, WANG Li⁴, WANG Xue-qin¹

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 2. School of Resources and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. East Hebei Oil Field Company, Tangshan 063200, Hebei, China; 4. Changqing Oil Field Company, PetroChina, Xi'an 719000, Shaanxi, China)

Abstract: Seven level sand layer boxes with even floors crushed by lateral forces are designed in this experiment with the emphasis on the effects of sand hillocks in different positions on the thrust zones when the level sand layers are crushed by lateral forces. The experimental results have disclosed that the scale and shape of the thrust zones have changed in response to the position of the sand hillocks. When the distances between the sand hillocks and left movable board are in the range of 10—25 cm, the lifting structures are developed while the distances vary just at 5 cm and 30 cm, the thrust faults are developed without lifting structures.

Key words: thrust zone; lifting structure; physical modeling; sand layer box