



# 唐山城市活断层探测成果展示

孙铭心（高级工程师）

Email: [13911657802@126.com](mailto:13911657802@126.com)

2015.11

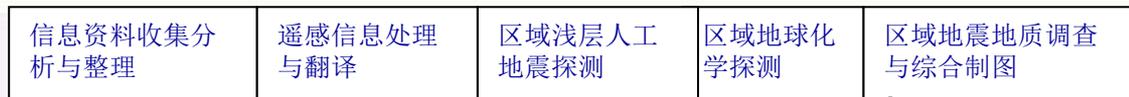


# 汇报提纲

- 一、简介
- 二、唐山市地震构造环境
- 三、目标断裂深浅部构造综合评价
- 四、唐山市区震害预测与防御对策
- 五、唐山市活断层信息管理系统
- 六、唐山活断层探测项目应用



- ◆ **1976年7月28日**，唐山发生了**7.8级**大地震，这次地震造成了**24万余人死亡**，是近年来发生在城市破坏极大的地震。唐山地震后，大量科学家对唐山地震进行了研究，得到了很多可喜的成果。
- ◆ 从唐山、土耳其、台湾地震造成的损失分析来看，科学规划城市建设、保证城市安全、抗御地震灾害迫在眉睫，首先要加强**探明城市地下活动断层的分布及其危害性评估工作**，也就是城市活断层探测工作。
- ◆ 城市活断层探测工作是一项以**地震地质学和地球物理探测**方法为主，对城市直下型地震发震断层进行综合探测的技术工作。



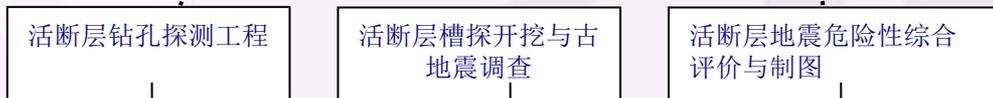
目标区活断层详细探测与精确定位



活断层准确位置→1: 10000—1: 50000比例尺活断层条带状分布图

活断层深部发震条件探测

活断层地震危险性评价



活断层定量参数→运动状态→发震段落→震级上限→发震概率

地震断层危害性评价、廊带震害预测及信息系统



《城市活断层探测工作》  
工程总体框图



010	TSZT01 唐山市基础地理地信息平台建设与高分辨率遥感信息处理
011	TSZT02 唐山市区域断裂活动性调查与地震构造图编制 (1:250, 000)
012	TSZT03 唐山市控制性钻孔探测及目标区第四系标准剖面建立
013	TSZT04 唐山市目标区活断层分布图 (1:50, 000) 及其说明书
014	TSZT05 唐山市目标断层控制性浅层地震探测与综合解释
015	TSZT06 唐山市跨断层联合钻孔剖面探测及断层活动心鉴定
016	TSZT07 唐山市中小地震精确定位及其与断裂活动性关系分析
017	TSZT08 唐山市区域深地震反射探测与综合解释
018	TSZT09 唐山目标区地壳三维深地震折射探测
019	TSZT10 唐山市目标区详勘阶段浅层地震勘探
020	TSZT11 唐山市详勘阶段跨断层钻孔探测及断层活动性鉴定
021	TSZT12 唐山市目标区地震危险性评价
022	TSZT13 唐山市目标区目标断裂地震地质图 (1:10, 000) 及其说明书
023	TSZT14 唐山市目标区钻孔第四系三维层序一构造可视化建模与分析
024	TSZT15 唐山市目标区近断层强地震动评价
025	TSZT16 唐山市地震活断层地表破裂带与强变形带预测研究
026	TSZT17 唐山市区震害预测
027	TSZT18 唐山市活断层及震害预测数据库和信息体系建设

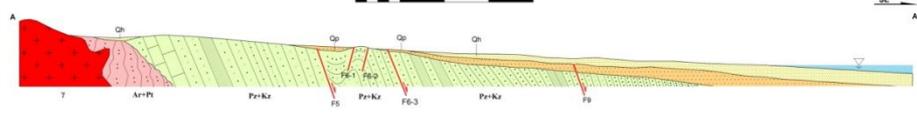
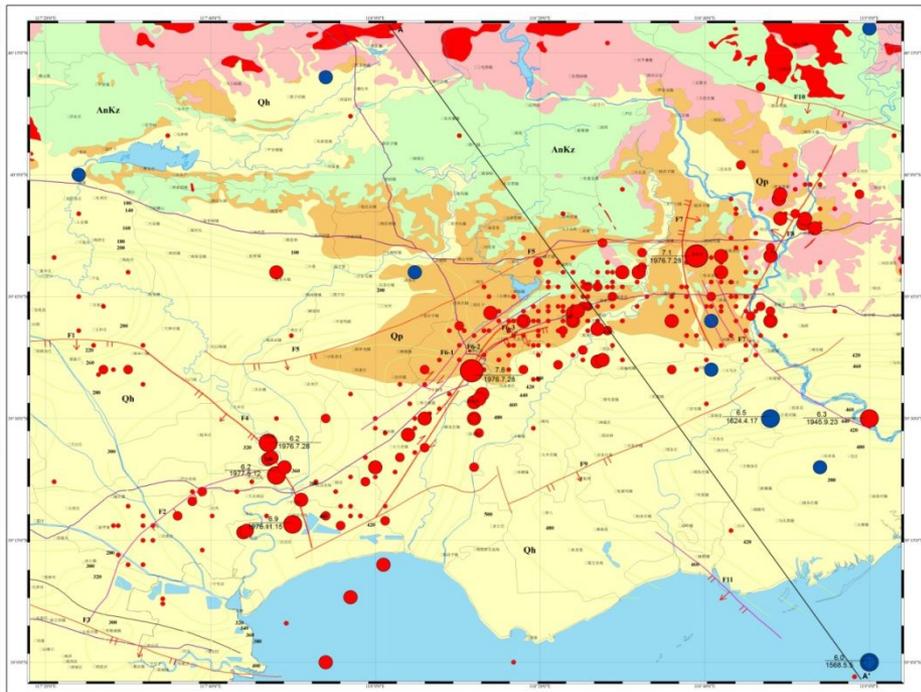
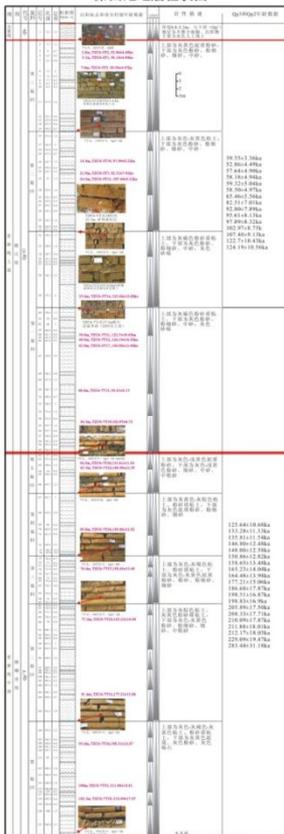


## 二、唐山市区域地震构造环境

# 唐山市区域地震构造图 1:250,000



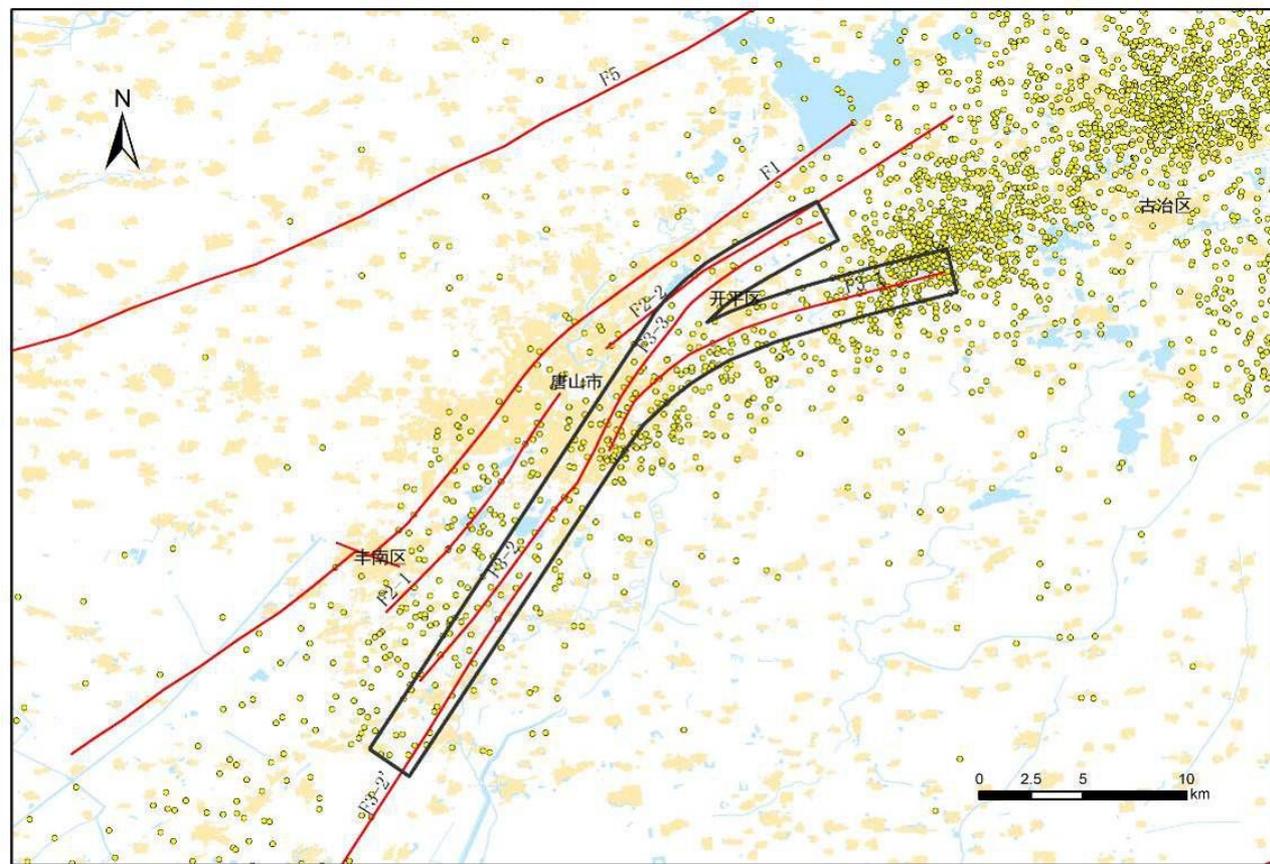
第四纪地层柱状图



唐山市区域位于河北平原地震带北部，新生代以来构造活动强烈，古地震研究揭示出多次事件；现今处于以NEE向水平主压应力与NNW向水平主张应力为主的应力场中，NNE-NE向断裂易发生右旋走滑，NNW-NW向断裂易发生左旋走滑，区域上具有发生中强震的构造背景。



唐山地震断裂 (F3) 为1976年唐山7.8级地震的发震断层，其西南段走向NE30°，东北段走向NE50°，全长约30km。唐山市区以南由两条平行的断层组成，下伏基岩断层为开滦煤矿命名的IV号断层和V号断层。两断层间距约500m，断层主体倾向NW，倾角70-80°。



探测表明：唐山地震断裂 (F3) 由唐山—古冶断裂 (F3-1)、唐山—南湖断裂 (F3-2) 和唐山—马家沟矿断裂 (F3-3)。



## 发震断裂空间展布定位

- 1) 利用唐山矿区资料确定发震断裂深部特征和空间展布
- 2) 利用唐山地震高伤亡率空间分布确定发震断裂带位置
- 3) 利用1976年唐山7.8级地震地表裂缝和破裂带确定发震断裂分布
- 4) 布设浅层地震测线精确定位发震断裂
- 5) 跨断层钻孔探测定位发震断裂位置
- 6) 开挖大型探槽定位发震断裂位置

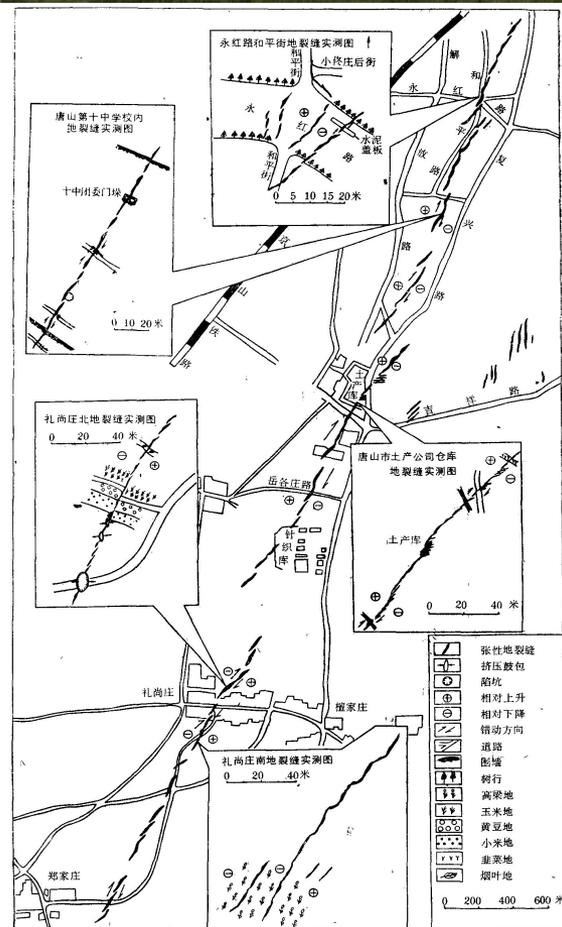
## 唐山-南湖断裂 (F3-2)

### 2) 1976年唐山地震地表裂缝带

沿唐山-古冶断裂出现一条长约8km的地震破裂带，破裂带总宽约30m，总体走向NE30°，裂缝带两侧呈右旋水平扭动，具典型的张性性质，由十几条扭裂缝呈反排雁列组成。水平右旋扭距最大达2.3m，北西盘相对上升，南西盘下落0.2-0.7m。



牛马库院内错断行树 (镜向NE)



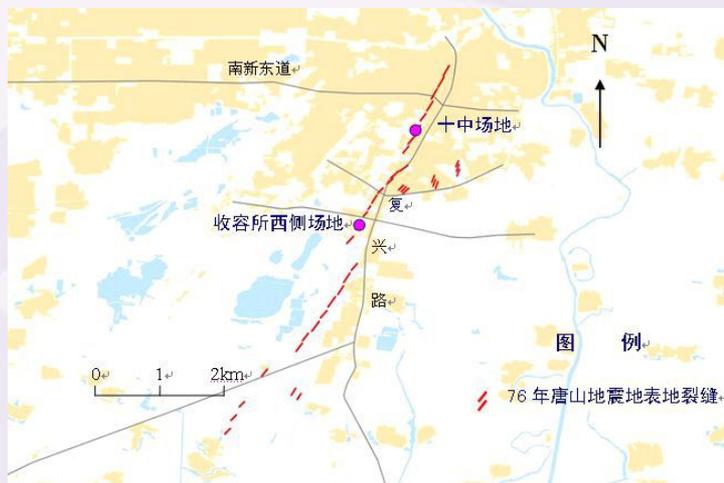
地裂群成雁行式排列，单条地裂走向一般为N45~60°E，总体走向为N30°E。第四系厚度在北部小山街一带为0-50米，到安机寨一带大于300米。



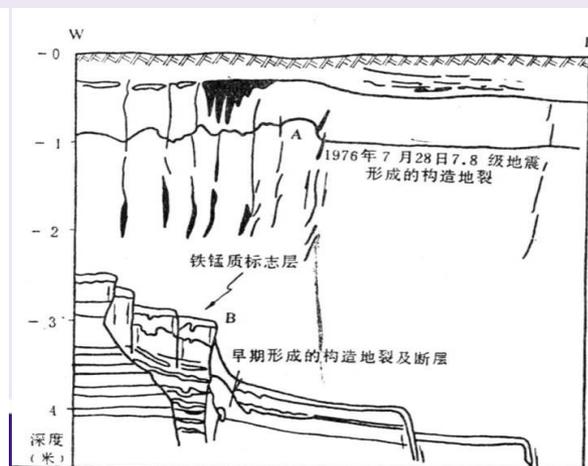
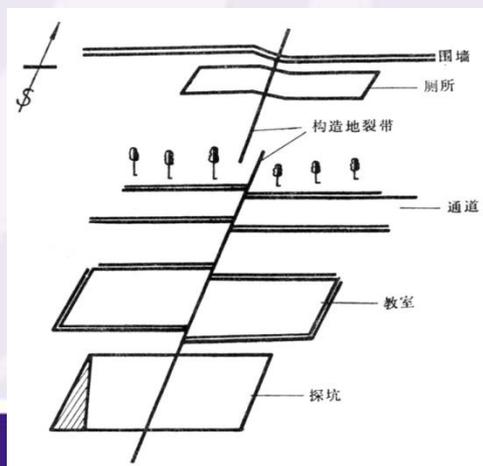
# 第十中学旧址

## 地表裂缝:

十中旧址内地裂长60米，水平位移1.45米，垂直位移0.6米，剪切破碎带宽达2.5米，地裂穿切的道路，树行及建筑物均有明显的错动。



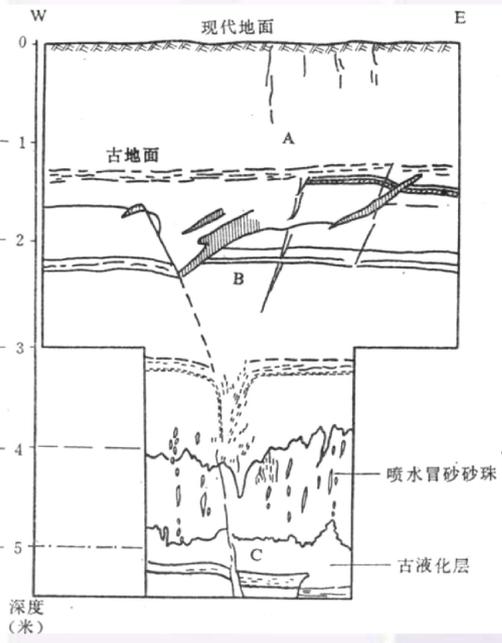
## 探槽开挖





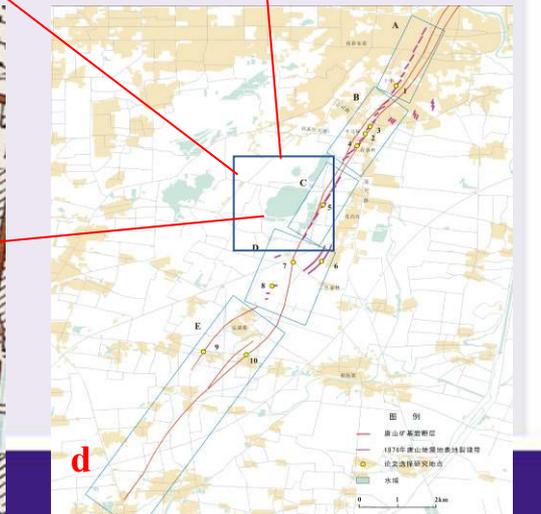
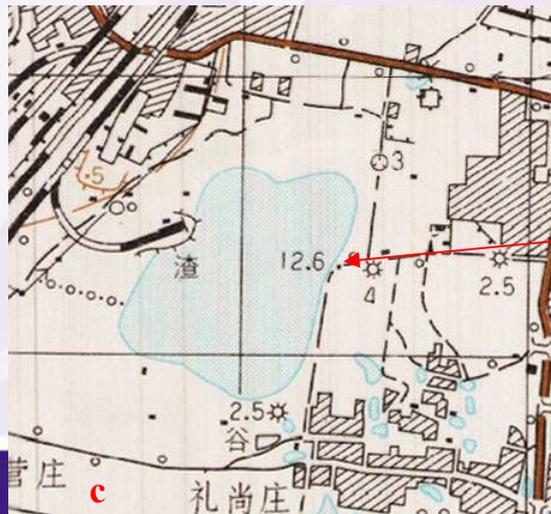
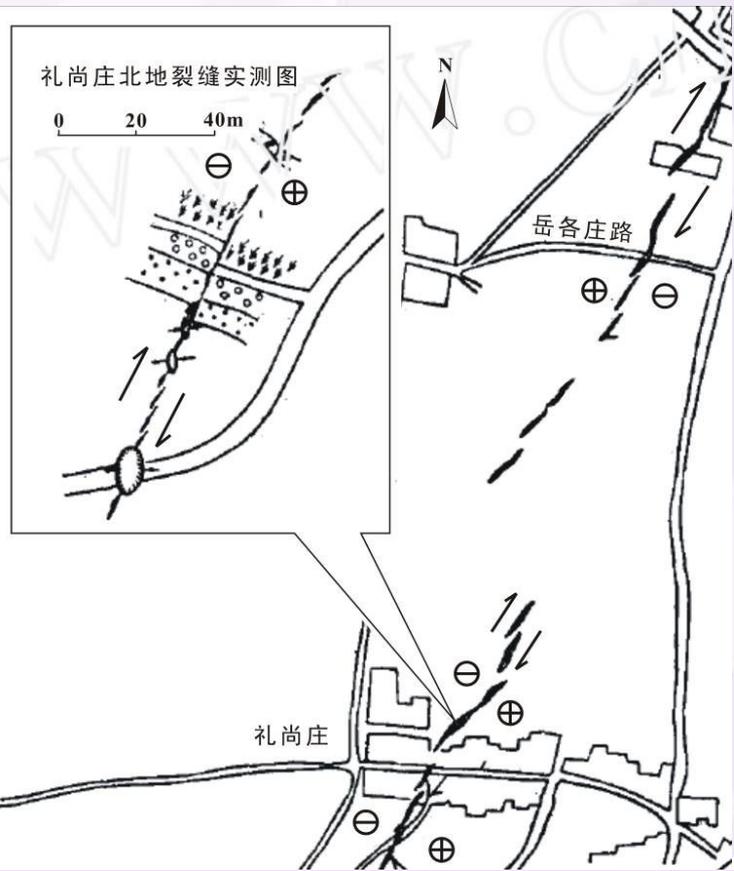
## (3) 牛马库大型探槽开挖

探槽清晰揭示出了断层贯通地表，在浅表表现为逆走滑特征。断裂两盘存在50cm的高差，为一右旋走滑断裂，SE盘相对下降，NW盘上升。





由于煤田采空区原因，在唐山地震中，礼尚庄-郑家庄一带形成了长约1.5km，宽约300余米的沉降带，积水达1m深，庄稼、树木等均被水淹（杜春涛等，1985）。





## 综合探槽南北两壁年代学数据:

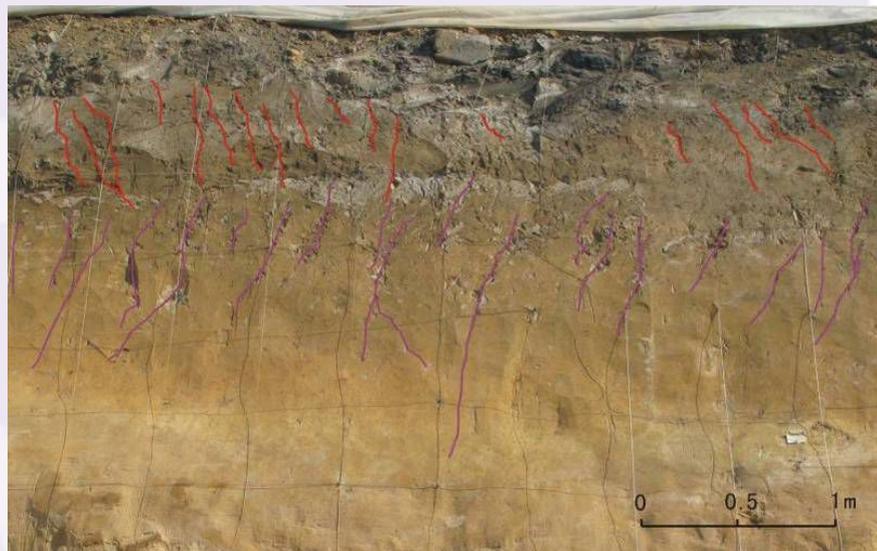
第一次强震:  $73.42 \pm 6.24 \text{ka} - 89.39 \pm 7.60 \text{ka}$ ;

第二次事件:  $58.97 \pm 5.01 \text{ka} - 73.42 \pm 6.24 \text{ka}$ ;

第三次事件:  $56.78 \pm 4.83 \text{ka} - 58.97 \pm 5.01 \text{ka}$ ;

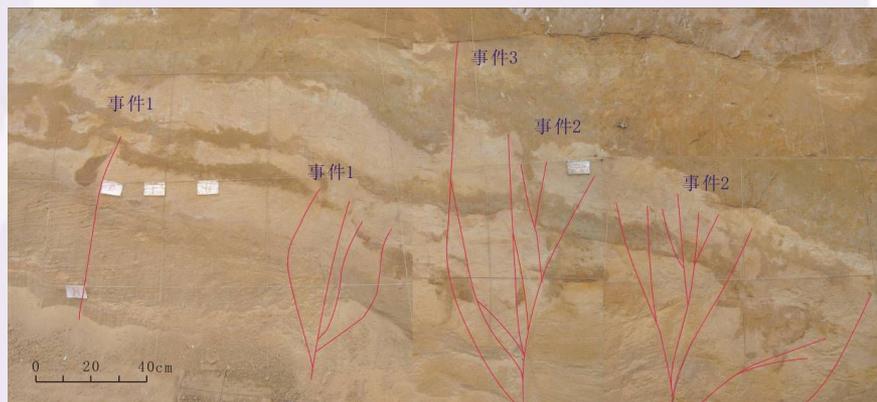
第四次事件:  $6.89 \pm 0.58 \text{ka}$ ;

第五次事件: 1976年唐山地震。



探槽北壁上部的2组地裂缝

探槽揭示出50ka以来, 该断层只发生了2次地震事件(第四、五次), 由于该区晚更新世以来长期处于剥蚀状态, 存在遗漏古地震事件的可能性, 最近的2次地震事件中, 在探槽开挖地区断层均未破至地表, 仅仅沿着断层位置在地表形成断续的地裂缝带。

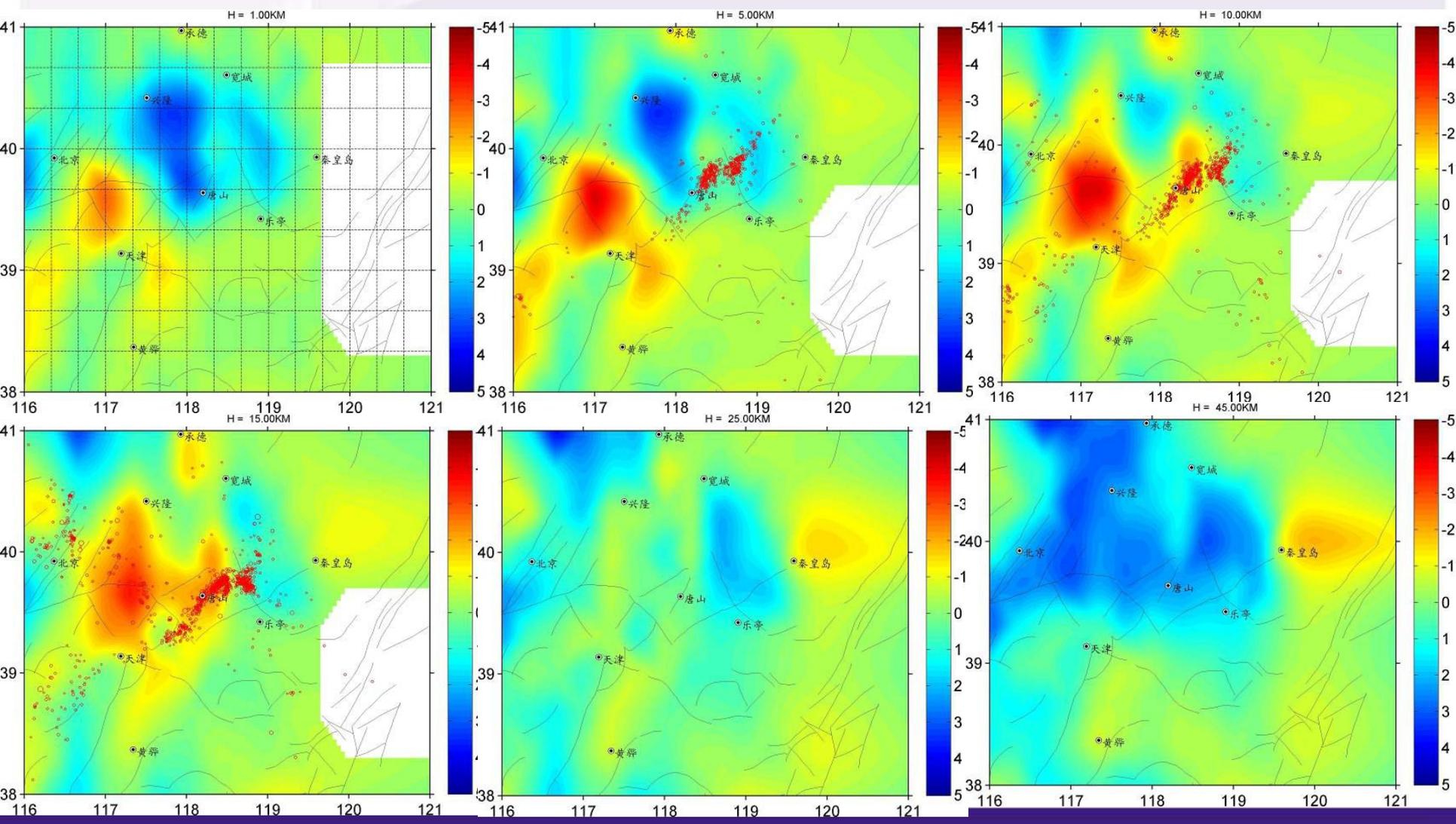


北壁中央部分断层分布 (探槽下部砂层)

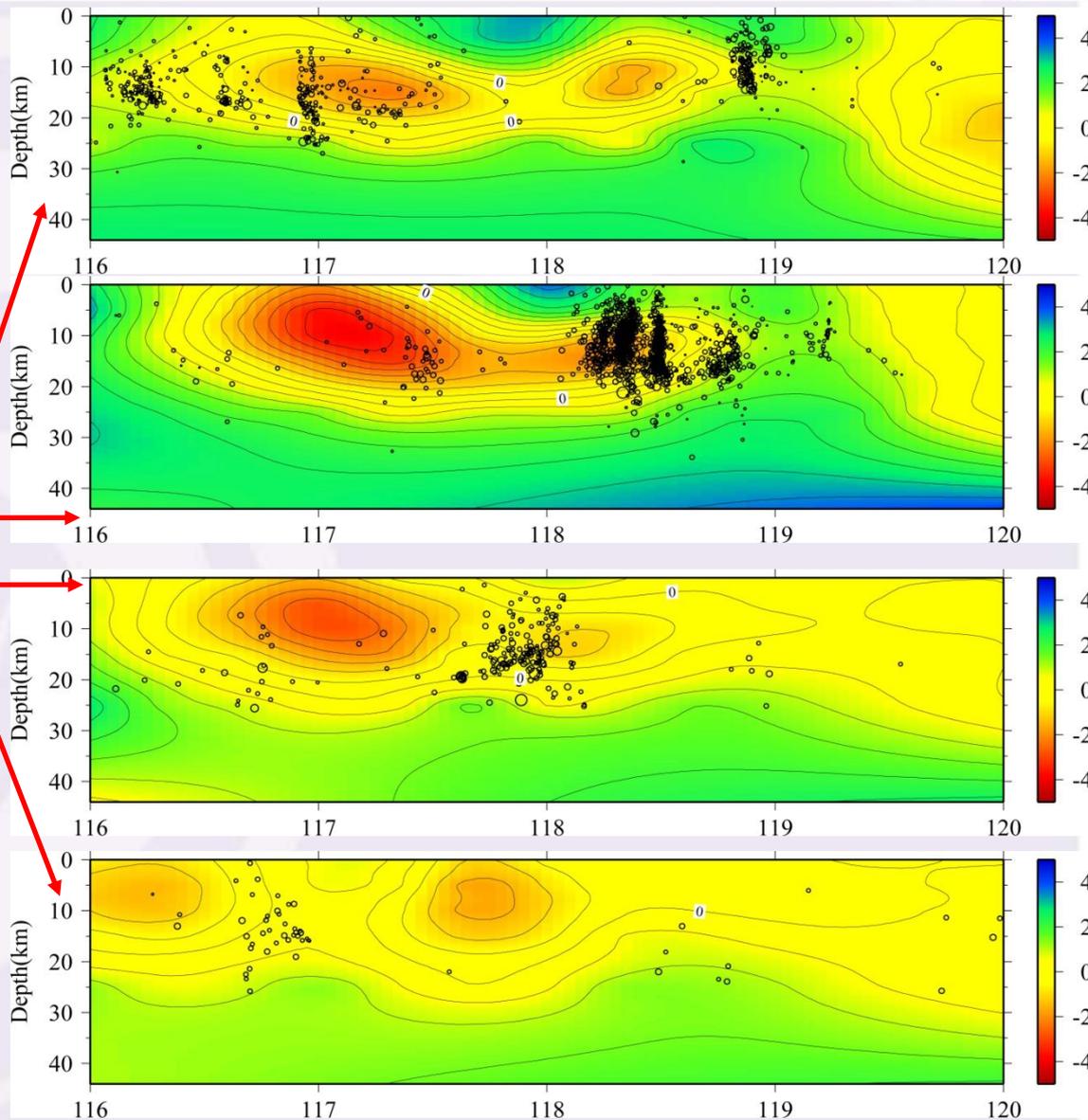
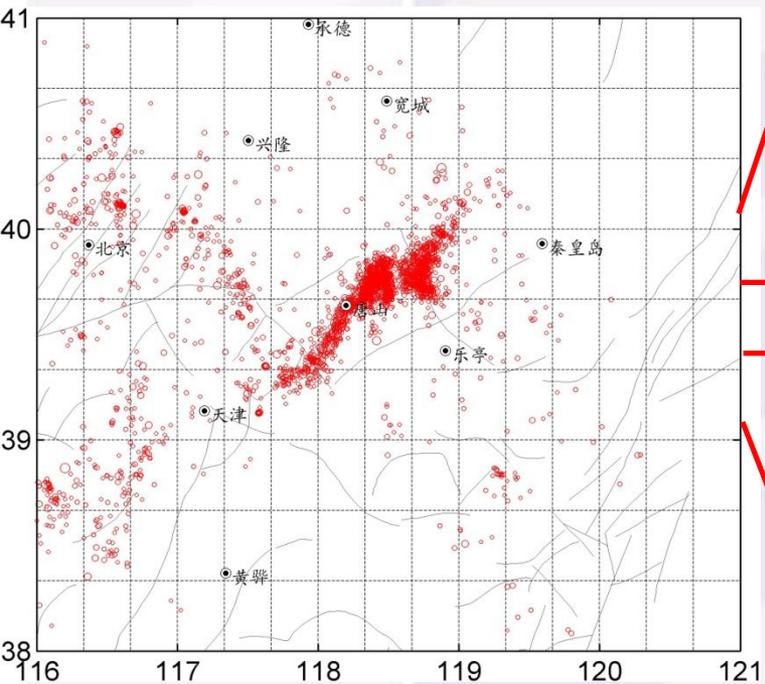


### 三、唐山地震区深浅部构造综合评价

## 唐山地区层析成像结果



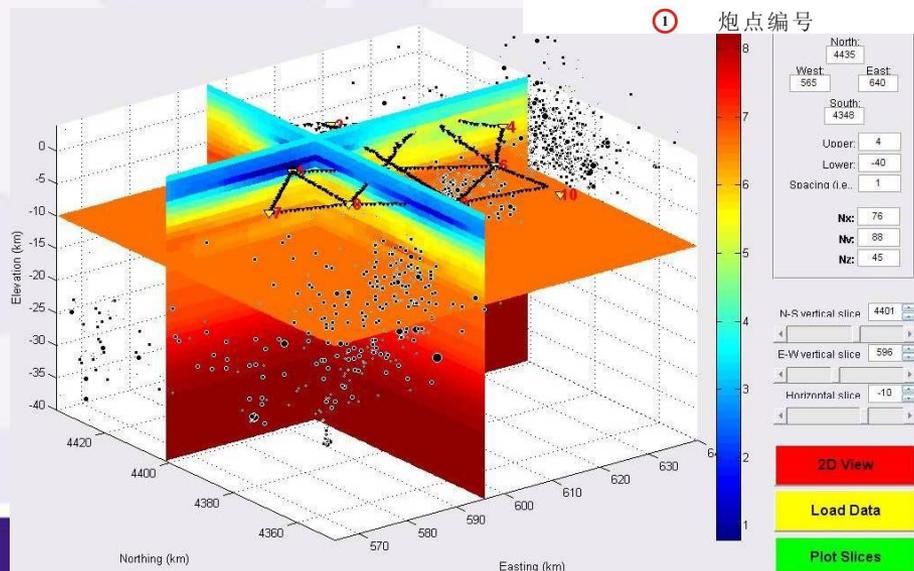
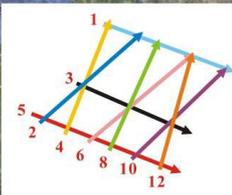
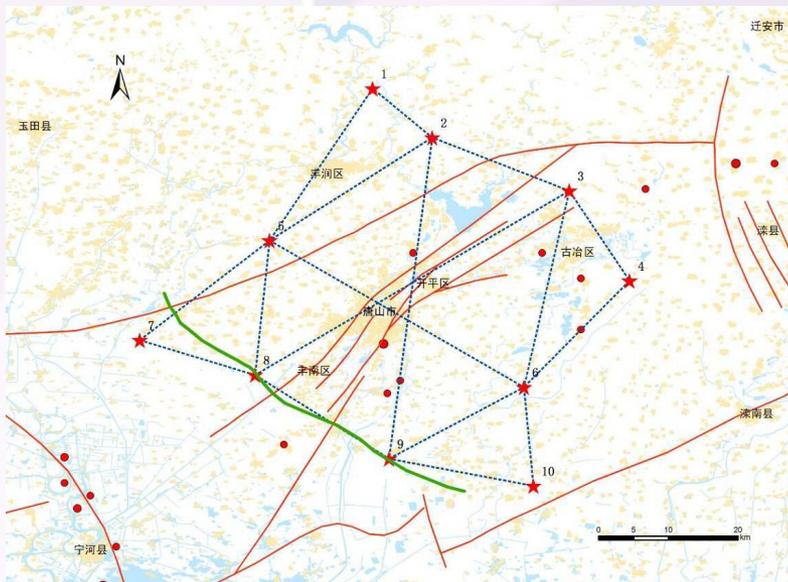
# 层析成像结果



四条剖面有一个共同的特点，在中地壳有明显的低速异常。



## 三维深地震折射探测及其孕震构造分析



① 炮点编号      1 测线编号

North:	4435
West:	565
East:	640
South:	4348
Upper:	4
Lower:	-40
Seacino (i.e.):	1
Nx:	76
Ny:	88
Nz:	45

N-R vertical slice: 4401  
E-W vertical slice: 598  
Horizontal slice: -10

- 2D View
- Load Data
- Plot Slices



# Three-Dimensional Seismic Tomography Beneath Tangshan, China

## 与美国的合作交流

Chen, C., Karrenat, K. M., ...  
1. School of Geology, Oklahoma State University, Oklahoma, USA  
2. National Earthquake Response Support Service, China Earthquake Administration, Beijing, China  
3. Department of Geological Sciences, University of Oklahoma, Oklahoma, USA

**俄克拉荷马大学**  
**德克萨斯大学**  
**美国自然科学基金会**

In an international, multi-institutional collaborative effort between the University of Oklahoma (OU), China Earthquake Administration (CEA), National Earthquake Response Support Service (NERSS), and the Chinese Academy of Sciences (CAS), we have conducted a 3D seismic tomography study of the Tangshan region, China. The study area is located on the northern edge of the Bohai Bay Basin, and straddles exposed bedrock (mostly limestone) and Quaternary fill.

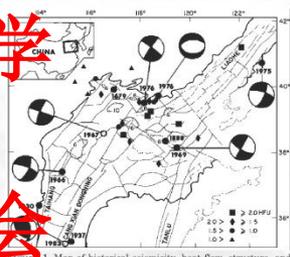


Figure 1. Map of historical seismicity, heat flow, structure, and sedimentation of the North China Basin (from Nábělek et al., 1987). Basin boundary (thick solid lines), faults (solid lines, dashed when less certain), coastline (dotted curve).



Figure 2. Inset shows location of study area. Geologic map of northeastern China (Steinbuser, 1997). The study area (red box) is located along the northern edge of the Bohai Bay Basin, and straddles exposed bedrock (mostly limestone) and Quaternary fill.

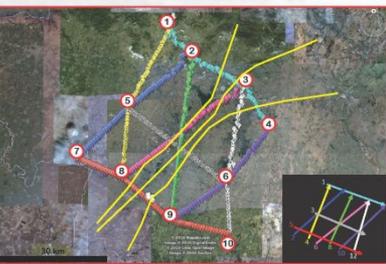


Figure 3. Google Earth image of the study area (centered on Tangshan), and survey geometry. The nine deployment lines are color coded (inset) for 2D geometry tomography. Red circles show location of reflection shots 1-10. Thick white arrows show location of reflection shots (south) and quarry blasts (north). Targeted faults are approximated with yellow lines. The concept behind the experiment design was that all shots would be recorded by all receivers.

### III. Data



Figure 4. Shot gather of northernmost line, Line 01. Time is unredacted, and source-receiver offset is in meters. First arrival picks (red asterisks) are shown on the traces. Data have been filtered (6-8-12-48 Hz bandpass window), had automatic gain control (AGC) applied, and top- and bottom-muted (shaded areas).

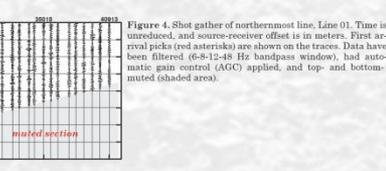


Figure 5. Shot gather of southernmost line, Line 05. Time is unredacted, and source-receiver offset is in meters. First arrival picks (red asterisks) are shown on the traces. Data have been filtered (2-4-25-30 Hz bandpass window), had automatic gain control (AGC) applied, and top- and bottom-muted (shaded areas).

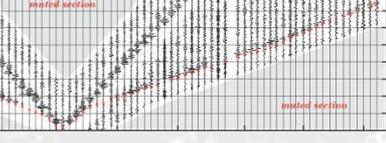


Figure 6. Depth slices from 0 to 3.5 km (A to H) through 3D inversion model of first arrival travel time picks (procedure as described in Hole, 1992). Colors depict velocities from low (cool blues) to high (warm blues). The model supports previous work on basin thicknesses of the area of 1.5 to 2 km (cf. Hu et al., 1989).

### IV. 3D Tomography

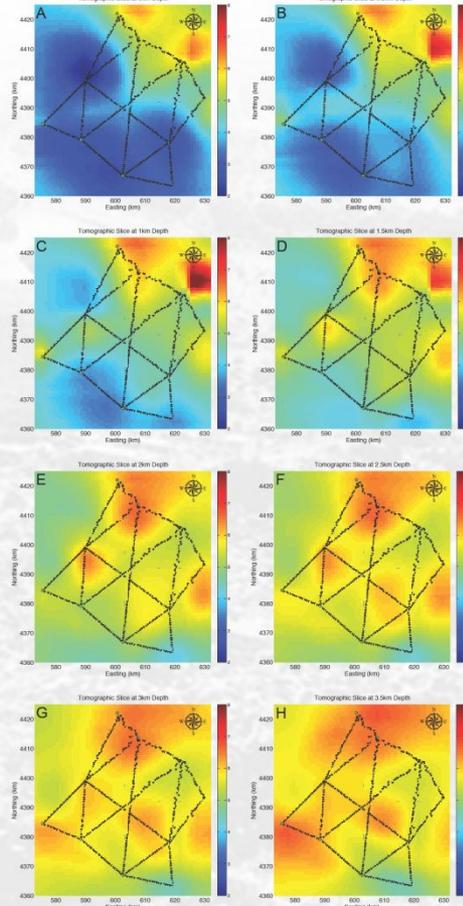


Figure 6. Depth slices from 0 to 3.5 km (A to H) through 3D inversion model of first arrival travel time picks (procedure as described in Hole, 1992). Colors depict velocities from low (cool blues) to high (warm blues). The model supports previous work on basin thicknesses of the area of 1.5 to 2 km (cf. Hu et al., 1989).

### V. 2D Tomography

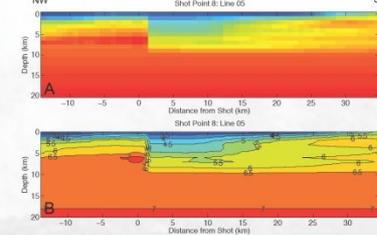


Figure 7. (A) 2D velocity profile of the 3D tomographic model along Line 05. Distance is offset from Shot 8, in km. (B) Contour of A, interval is 0.5 km/s. Large lateral velocity gradient near Distance 0 (zero) km is interpreted as a fault. Smaller velocity gradient between Distances 10 and 25 km may be interpreted as another fault(s) or a westward-dipping interface. We are currently modeling the travel time picks, via 2D raytracing, in order to better delineate the subsurface geology.

### VI. 2D Raytracing

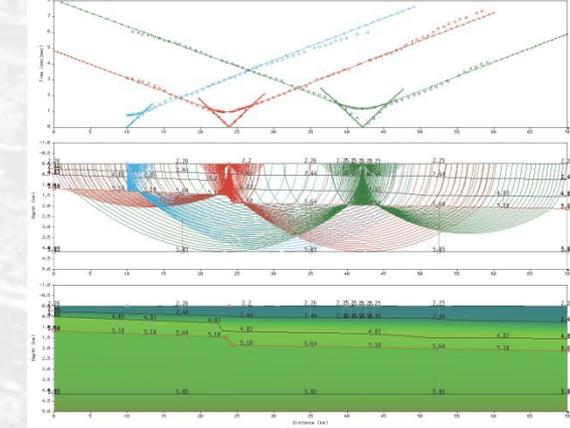


Figure 8. Preliminary MacRay 2D raytracing model of Line 05. (A) Observed and modeled travel times. (B) Raypaths for direct, reflected, and refracted waves. (C) 2D velocity profile, and geologic interfaces.

### VII. Discussion

- Basin fill thickens from northeast to southwest, attaining maximum thickness of ~1.5 to 2 km.
- Three suspect faults pass through Tangshan (Fig. 3); however, our preliminary results indicate a large fault with ~5 km of throw.
- Unmapped faults, striking NW-SE, are suggested by the tomography and may be better modeled with 2D raytracing.

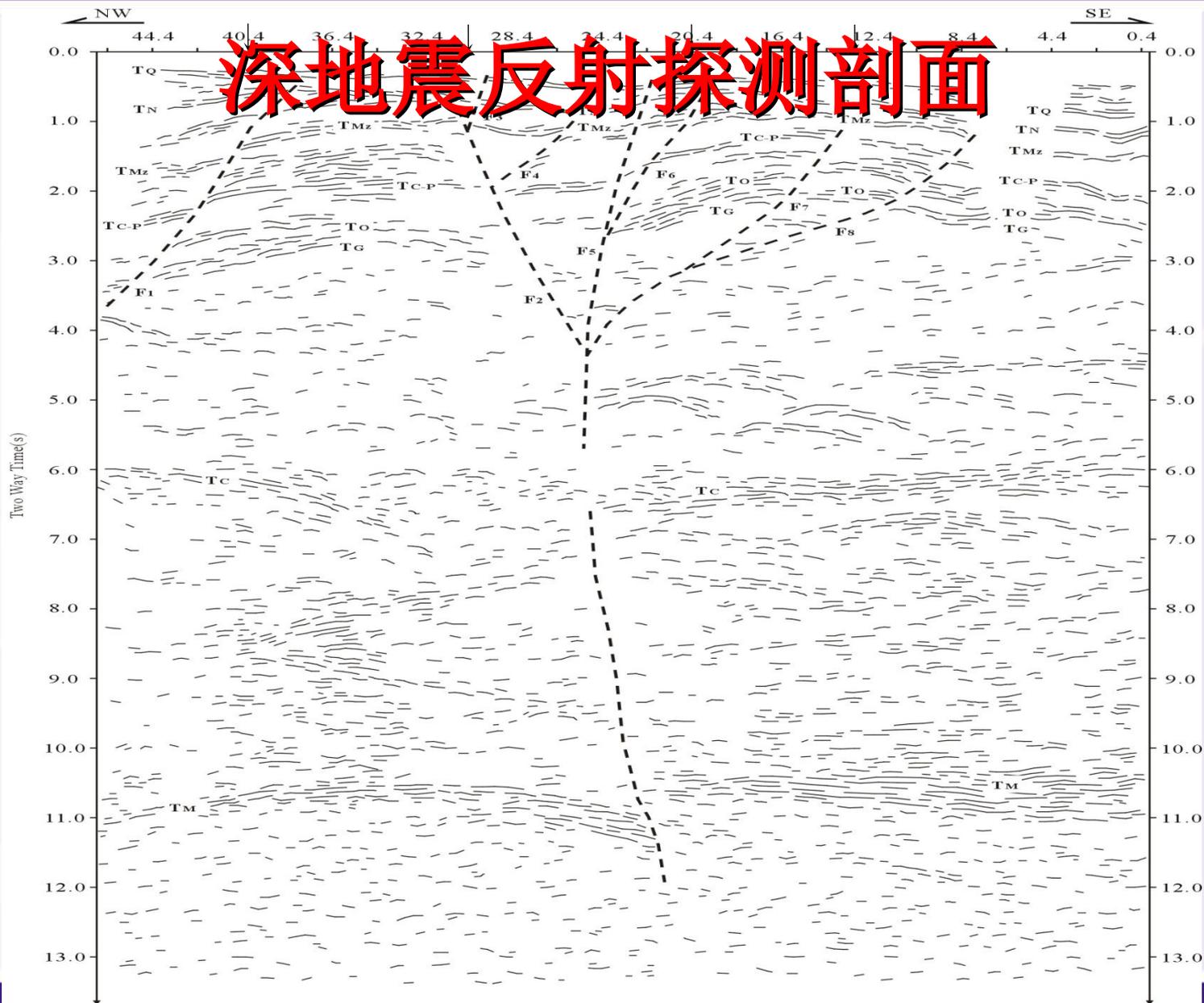
### VIII. References

Hole, J. A. (1992). Nonlinear High-Resolution Three-Dimensional Seismic Travel Time Tomography. *JGR*, 97(B5).  
Hu, J., Xu, S., Tong, X. and Wu, H., (1989). The Bohai Bay Basin, in Zhu, X., ed., *Chinese Sedimentary Basins*: Elsevier, Amsterdam, pp. 89-105.  
Nábělek, J., W.-P. Chen, and H. Ye (1987). The Tangshan Earthquake Sequence and Its Implications for the Evolution of the North China Basin. *JGR*, 92(B12), 12,615-12,628.  
Steinbuser, D.W., Qiang, J., McCabe, P.J., and Ryder, R.T., (1997). Maps Showing Geology, Oil and Gas Fields, and Geologic Provinces of the Asia Pacific Region: USGS OFR 97-470F.



# 与美国俄克拉荷马大学交流







# 唐山地震区深浅部构造综合评价

## 探测区地壳三维速度结构特征

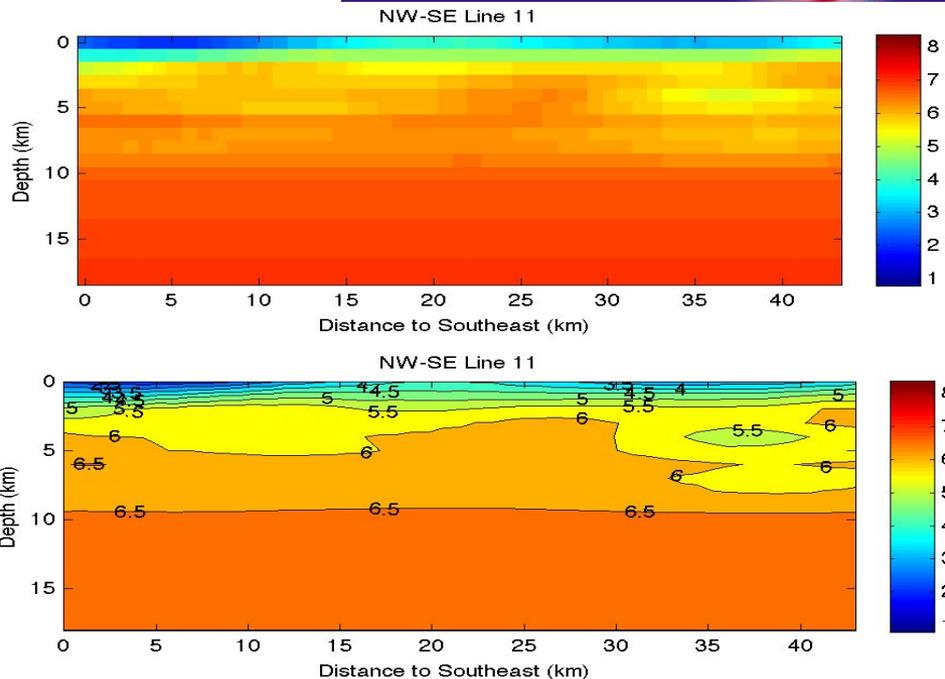
1) 顶部速度层：代表由浅表第四系—第三系沉积层组成的地质体，速度在0—5km/s，深度在0—2.5km之间。

2) 上部速度层：可能代表由古生界沉积层组成的地质体，速度在5—6km/s，深度在2.5—5km之间。

3、中部速度层：可能代表由元古界沉积层组成的地质体，速度在6—6.5km/s，深度在5—9km之间。

4、下部速度层：可能代表由太古界结晶基底组成的地质体，速度大于6.5km/s，深度大于9km。

该三维速度体揭示，唐山目标区在约9—10km深度为一重要界面，该界面可能是唐山目标区上地壳（沉积盖层）与中下地壳（结晶基底）的分界，也是唐山强震区地震发生的主要深度分布范围，但受区域构造和地震（活动）断裂的长期作用和影响，该界面及其以上界面埋深在探测区域内起伏较大。





## 四、唐山市区震害预测



## 专题内容设置

- 地震危险性分析及地震小区划
- 建筑物震害预测
- 生命线工程震害预测
- 地震次生灾害评价
- 人员伤亡与经济损失评估
- 防震减灾对策研究
- 数据库与信息管理系统



- 交通系统
- 供水系统
- 供电系统
- 供气系统
- 通信系统
- 供热系统



# 地震人员伤亡估计

在六度烈度情况下，工作区基本不会发生人员伤亡；七度情况下死亡人数是十人量级，受伤人数是百人量级；八度情况下死亡可达数百人，受伤可达数千人；九度情况下，死亡数千人，受伤数万人；十度情况下，死亡数万人。



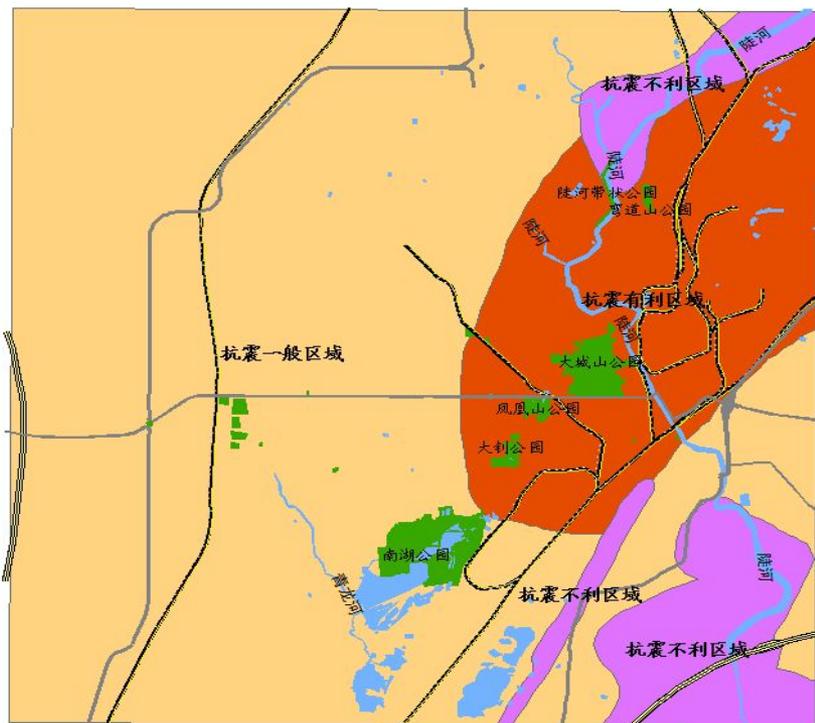
# 地震经济损失估计

唐山市区在发生VI、VII、VIII、IX、X烈度地震情况下地震直接经济损失分别约为5.3亿、22亿、63亿、158亿、295亿。这里仅考虑了建筑结构及其室内财产，生命线工程的直接地震经济损失，没有包括次生灾害可能造成的直接经济损失。



# 防震减灾对策

- 防震减灾工作体系建设综合评价与完善建议
- 抗震防灾土地利用与避震疏散规划建议
- 地震应急预案体系分析与地震应急对策
- 地震应急救援保障体系综合评价与完善建议



唐山市区抗震  
土地利用规划



- **五、唐山市活断层探测和震害预测**
  - **数据库与管理信息平台建设**

## 一、系统构成

唐山市活断层探测和震害预测数据与管理信息平台建设由以下内容构成：

- 1、基础地理与高分辨影像信息平台建设
- 2、唐山市活断层探测数据库及技术系统
- 3、唐山市区震害预测信息管理与应急辅助决策系统
- 4、唐山市防震减灾信息服务系统

## 二、系统功能

- 1、唐山市活断层探测数据库建库与数据查询
- 2、唐山市活断层探测成果展示
- 3、唐山市区震害预测信息管理与应急辅助决策
- 4、唐山市防震减灾信息服务系统



## 唐山市基础地理信息与高分辨影像数据库

- 1、唐山市工作区1:25万数字地形图信息平台建设
- 2、唐山市辖区1:5万数字地形图信息平台建设
- 3、目标区1:1万数字地形图信息平台建设
- 4、基于遥感影像数据的矢量数据更新
- 5、目标区高分辨率卫星影像信息平台建设
- 6、唐山市区大比例尺基础地理数据（1:500、1:1000）平台。



- 1) 浏览各级部门的地震应急预案。
- 2) 显示与查询专题地图的基础地理信息和专题信息。
- 3) 展示和查询震害预测成果相关地理和预测结果数据。
- 4) 用户管理。
- 5) 地图管理。





## 提供了科学依据

- 1、为唐山市主城区建设规划提供了科学依据
- 2、为唐山市开发区建设规划提供了科学依据
- 3、为唐山市区可持续发展提供扎实依据
- 4、为唐山市城市改造与避震疏散场地规划与建设提供了科学依据
- 5、为唐山市应急备灾与应急救援规划提供了科学依据



- 1、项目活断层探测与地震危险性评价结果阶段性成果（2010年）已在唐山市城市总体规划（2020年）中得到应用，为城市科学避让发震断裂带提供了科学依据。
- 2、项目阶段性中等强余震地点预测结果已得到2012年5月28日唐山4.8级地震的验证，项目强余震地点预测将为唐山市地震预报预测提供科学依据。
- 3、项目阶段性成果已在城市工程建设场地发震断裂带避让选址、危旧房屋和老城区拆迁中得到多项应用，为城市工程建设场地发震断裂带避让和城市建设、为唐山市重大建设项目工程选址提供了科学依据。
- 4、项目阶段性成果还将在城市应急备灾和救援能力建设方面提供科学依据。



谢谢  
请各位专家指正